

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Petar Harapin

Zagreb, 2010

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Zvonko Herold, dipl. ing

Petar Harapin

Zagreb, 2010

Sažetak rada

Zakretna platforma za zavarivanje rabić će se u tehnološkom procesu serijske proizvodnje nosivih okvira pregradnih stijena iz čeličnih cijevi u zavarenoj izvedbi, tako da se zavari zakretanjem platforme dovode u horizontalni položaj prije zavarivanja. Platforma omogućuje prihvat rastavljivom vezom različitih naprava za zavarivanje na svoj rotacijski okvir i kontinuirano zakretanje oko uzdužne osi, uz sigurnosno pozicioniranje u radnom položaju svakih 15°, prema horizontali.

Okvir nosača u osnovnoj izvedbenoj varijanti dimenzija 9x3 m, oblikovan je u zavarenoj izvedbi iz web-nosača, te je uležišten na samoudesivim dvorednim bačvastim vajnim ležajima. Kućišta ležaja oslanjaju se na temeljni nosač uležištenja na koji su pričvršćena vijcima. Potporna nosiva konstrukcija spojena je vijcima da se osigura tražena modularnost izvedbe, ali i lakši transport. Zakretanje okvira izvodi se pomoću motora i reduktora koji je s izlaznim vratilom spojen na okretni okvir platforme. S druge strane, nasuprot reduktoru, nalazi se uređaj za pozicioniranje i sigurno držanje platforme u željenom zakrenutom položaju. Cjelokupna nosivu konstrukciju zakretne platforme projektirana je da se omogući mobilnost, odnosno oslonjena je na standardne okretne kotače s kočnicom, tako da se s viljuškarom ili nekim drugim vučnim sredstvom može jednostavno pomicati i premještati po potrebi tehnologije u proizvodnom pogonu bez uporabe dizalice.

Međutim, okretnu platformu oblikovana je i modularno da se može produžiti na 12 m s dodatnim segmentom okvira izvedenim u zavarenoj izvedbi s istim geometrijskim karakteristikama kao osnovni web-nosač. Spajanje dodatnog okvira od 3 m ostvareno je prirubničkom vezom vijcima, a centriranje je izvedeno pomoću centralnog svornjaka i dva bočna zatika.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradio samostalno u zadanom vremenskom razdoblju.

Diplomski rad sam izradio na temelju znanja stečenog na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, služeći se navedenom literaturom te uz pomoć mentora.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Zvonku Heroldu na pruženoj stručnoj pomoći i savjetima pri izradi ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem svojim kolegama i svima koji su mi pružili pomoć i podršku tijekom studiranja i izrade ovog diplomskog rada.

Petar Harapin

Popis fizikalnih veličina

Fizikalna veličina	Jedinica	Opis
A, A_{d3}, A_N	mm^2	površina
b	mm	širina
d, D	mm	promjer
$D_{A,gr}$	mm	granični vanjski promjer deformacijskog stošca
E	N/mm^2	modul elastičnosti
e	mm	duljina horizontalne stranice otvora web-nosača
e_1	mm	razmak između otvora web-nosača
F_A, F_B	N	reakcije u osloncima
F_{FQ}	N	minimalna sila pritezanja vijka
F_{Qmax}	N	maksimalna sila u vijku
F_{Mmin}	N	minimalna sila predzatezanja vijka
F_{Mmax}	N	maksimalna sila predzatezanja vijka
F_Z	N	Gubitak sile predzatezanja uslijed nalijeganja
G	kg/m	masa profila po metru
G_{uk}	N	ukupna težina platforme
g	m/s^2	gravitacija
h, h_b, h_t, h_s, h_G	mm	visina reza, profila
i	1	prijenosni omjer
I_y, I_x	mm^4	aksijalni moment inercije
l	m	duljina
M_1, M_2, M_3	Nm	momenti u presjecima vratila
M_t	Nm	moment torzije
M_{red}	Nm	reducirani moment
m_r	kg	ukupna masa reduktora i elektromotora
m_{tn}	kg	masa temeljnih nosača
m_{sn}	kg	masa spojnice nosača
m_{uk}	kg	ukupna masa konstrukcije
n_{mot}, n_2	min^{-1}	brzina vrtnje
n	1	broj otvora web-nosača
P	kW	snaga
p	1	broj polova elektromotora

Fizikalna veličina	Jedinica	Opis
p_{\max}	Pa	maksimalni površinski tlak
p_G	Pa	dopušteni površinski tlak
R_e	N/mm ²	granica tečenja materijala
Q	N/m	težina profila po metru
Q_{uk}	N	ukupna težina platforme s teretom
s	mm	duljina ponovljenog segmenta web-nosača
s_G	1	faktor sigurnosti protiv proklizavanja
y	1	Odnos promjera
t_w, t_f	mm	debljina stijenke profila
w, w_{\max}	mm	progib, maksimalni progib
W_{pZ1}, W_{pZ2}	mm ³	polarni moment otpora
$W_{xZ1}, W_{xZ2}, W_y, W_x$	mm ³	aksijalni moment otpora
α_0	1	faktor čvrstoće materijala vratila obzirom na način njegovog opterećenja
σ_D	N/mm ²	dopušteno naprezanje zavora
σ_{fDN}	N/mm ²	dopušteno naprezanje na savijanje za slučaj dinamičkog naizmjeničnog opterećenja
σ_e	N/mm ²	ekvivalentno naprezanje
σ_{red}	N/mm ²	reducirano naprezanje
α_A	1	faktor pritezanja
φ_D	°	kut zamjenskog deformacijskog stošca
β_L	1	duljinski odnos
τ_{tDI}	N/mm ²	dopušteno smično naprezanje za slučaj dinamičkog istosmjernog opterećenja
τ_Z	N/mm ²	smično naprezanje u zavaru
τ_{dop}	N/mm ²	dopušteno smično naprezanje u vijku
$\mu_{G\min}$	1	faktor trenja u prijanjajućim površinama
$\delta_S, \delta_{SK}, \delta_1, \delta_{Gew}, \delta_{Gm},$	mm/N	elastičnost karakterističnog presjeka vijka

Sadržaj

1	Uvod	1
2	Oprema za proizvodnju zavarenih konstrukcija	2
2.1	Mehanička oprema za zavarivanje	3
2.2	Naprave za oslanjanje	3
2.3	Elementi za fiksiranje i pričvršćivanje	4
2.4	Uređaji za okretanje	7
2.5	Zakretna platforma za zavarivanje	10
3	Dimenzioniranje nosača	11
3.1	Web-nosači	11
3.2	Računanje progiba za nosač proizvoljnog profila	12
3.3	Dimenzije otvora web-nosača	14
3.4	Broj šesterokutnih otvora na web-nosaču	15
4	Dimenzioniranje vratila	16
4.1	Moment uvijanja	16
4.2	Izbor reduktora i motora za okretanje vratila	17
4.3	Reducirani moment uslijed savijanja i uvijanja	18
4.4	Spoj vratila s platformom	22
4.5	Kontrola zavora	28
5	Dimenzioniranje temeljne ploče	30
5.1	Kontrola zavora	30
5.2	Kontrola vijaka	32
6	Izbor kotača	34
7	Zaključak	36
8	Literatura	37

Popis slika

Slika 1. Ploča za radove u sklapanju i zavarivanju	4
Slika 2. Graničnici: 1 - okretni, 2 – preklopni.....	5
Slika 3. Preklopni regulirajući graničnik	5
Slika 4. Pokretni graničnik	6
Slika 5. Zavojne stege : 1 – s gornjim zahvatom, 2 - s okretnim zahvatom	6
Slika 6. Polužne stege: 1 - s malim zahvatom poluge, 2 - s pričvršćivanjem na obodu, 3 - polužno-ekscentarske.....	7
Slika 7. Opći izgled manipulatora: 1 - stol, 2 - mehanizam nagiba, 3 - kućište, 4 - hidraulički pogon.....	8
Slika 8. Stroj za okretanje sa horizontalnom osi okretanja VG-0,25: 1 - prednji pogonski stup, 2 - zadnji slobodni stup	9
Slika 9. Dvostupni stroj za zakretanje UDK-3 : 1 – prednji pogonski stup, 2 – Izmjenjivi okvir, 3 – zadnji slobodni stup	9
Slika 10. Način dobivanja web-nosača iz IPE profila	11
Slika 11. IPE profil i web-nosač izrađen iz tog profila	12
Slika 12. Primjer izrade i dimenzije otvora web-nosača.....	14
Slika 13. Poprečni nosač sa pripremom za zavarivanje	15
Slika 14. Moment uvijanja na vratilu	16
Slika 15. Reduktor sa elektromotorom.....	18
Slika 16. Prikaz opterećenja platforme	18
Slika 17. Prikaz opterećenja na vratilu.....	19
Slika 18. Kontrolni presjeci na vratilu.....	20
Slika 19. Konačni izgled pogonskog vratila.....	21
Slika 20. Raspored vijaka	22
Slika 21. Raspodjela opterećenja unutar vijčanog spoja	22
Slika 22. Općeniti prikaz dimenzija potrebnih za proračun vijaka	23
Slika 23. Prikaz zavara vratila s prirubnicom	29
Slika 24. Spoj ležajnog mjesta sa temeljnom pločom	30
Slika 25. Prikaz opterećenja zavara temeljne ploče	31
Slika 26. Smještaj vijaka na temeljnoj ploči	32
Slika 27. Temeljni nosač.....	34
Slika 28. Kotač sa kočnicom.....	35

Popis tablica

Tablica 1. Klasifikacija opreme za izradu dijelova zavarenih konstrukcija	2
Tablica 2: Iskustvene vrijednosti nosivosti vijaka	23
Tablica 3. Dimenzije i materijali vijčanog spoja.....	24
Tablica 4. Vrijedosti predzatezanja vijaka u ovisnosti o faktoru trenja i kvaliteti vijka	27

Popis tehničke dokumentacije

Zakretna platforma_9m	001-10-2010
Zakretna platforma_12m	001-20-2010
Web-okvir	002-10-2010
Temeljni nosač	003-10-2010
Spojnica temeljnih nosača	004-10-2010
Pogonsko vratilo	005-10-2010
Vratilo 2	006-10-2010
Ležajno mjesto	007-10-2010
Odstojnik	008-10-2010
Poklopac ležaja	009-10-2010
Poklopac ležaja 2	010-10-2010
Nosač poluge fiksatora	011-10-2010
Poluga fiksatora	012-10-2010
Disk fiksatora	013-10-2010
Poklopac glavine	014-10-2010
Dodatni web-okvir	015-10-2010
Dodatna spojnica	016-10-2010
Pločica svornjaka	017-10-2010

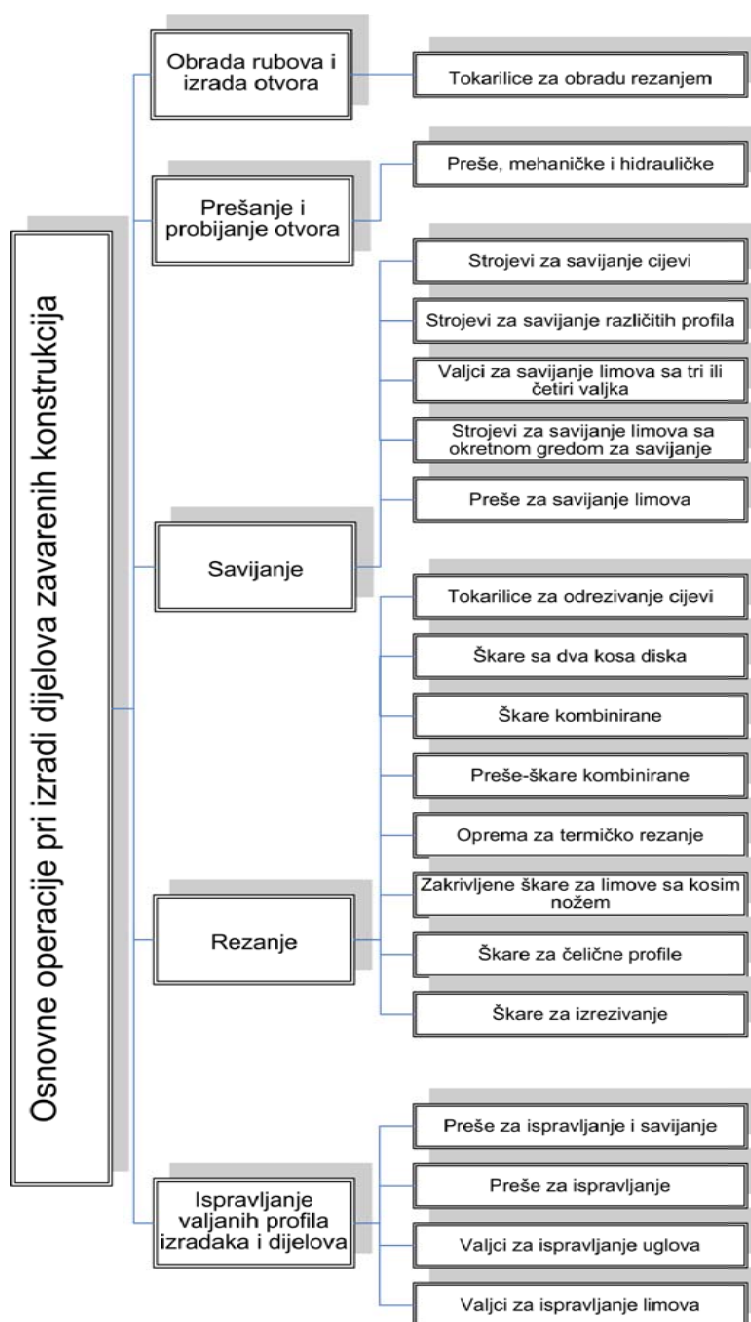
1 Uvod

U današnje vrijeme javlja se potreba za sve efikasnijom i bržom izradom proizvoda, isto to se odnosi i na tehnologije izrade odnosno tehnike spajanja kao što je zavarivanje. Kod zavarivanja je tako vrlo bitno da se postigne što veća točnost zavora, što manja zaostala naprezanja, plastične deformacije te da se smanji pomicanje izratka prilikom zavarivanja. Problem pomicanja izratka može se riješiti njegovim fiksiranjem. Fiksiranje izratka prilikom zavarivanja može se postići korištenjem razne opreme za zavarivanje koja je opisana u sljedećem poglavlju. Kod zavarivanja se također javlja potreba da se izradak zavaruje u horizontalnom položaju jer se time postiže kvalitetniji zavar bez slijevanja. Zakretna platforma za zavarivanje jedno je od rješenja za navedene probleme. Platforma omogućuje prihvat naprava za fiksiranje izradaka te ima mogućnost zakretanja u horizontalni položaj. U nastavku ovog rada prikazan je postupak projektiranja jedne takve platforme.

2 Oprema za proizvodnju zavarenih konstrukcija

Oprema za proizvodnju zavarenih konstrukcija dijeli se na sljedeće glavne grupe[1]:

- oprema za pripremne radove na izradi dijelova zavarenih konstrukcija,
- osnovna zavarivačka oprema,
- mehanička zavarivačka oprema,
- mehanizirani i automatski stanovi i linije,
- oprema za kontrolu zavarenih spojeva.



Tablica 1. Klasifikacija opreme za izradu dijelova zavarenih konstrukcija

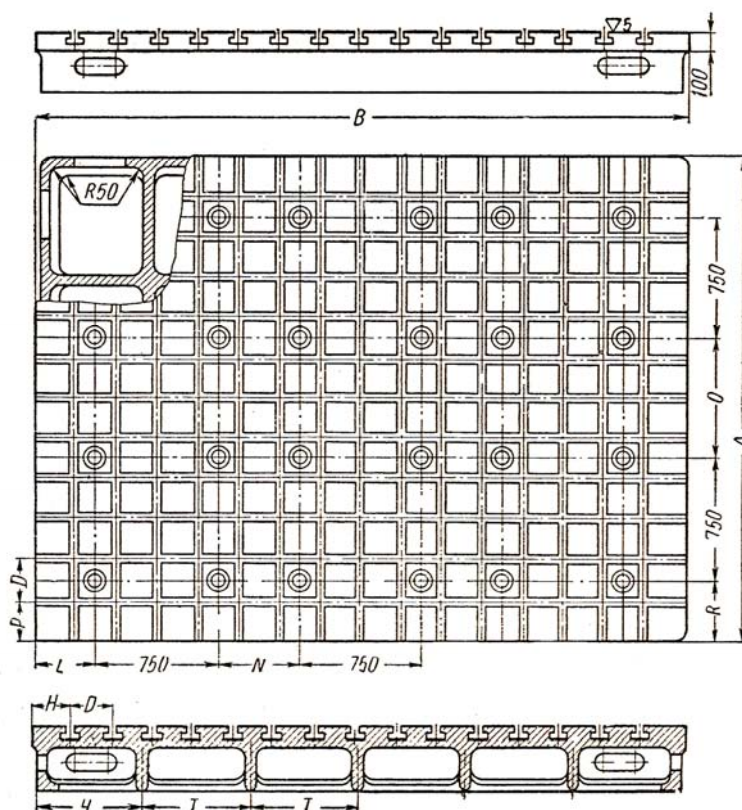
2.1 Mehanička oprema za zavarivanje

Mehanički uređaji i pribori za sklapanje i zavarivačku proizvodnju se dalje mogu podijeliti na uređaje za:

- postavljanje i okretanje komada koji se sklapaju i zavaruju
 - naprave za oslanjanje,
 - uređaji za okretanje,
 - za fiksiranje i pričvršćivanje;
- sklapanje zavarenih konstrukcija:
 - za fiksiranje i pričvršćivanje,
 - univerzalne sprave,
 - za namještanje za sklapanje;
- za zavarivanje:
 - za namještanje i premještanje automata za zavarivanje i premještanje zavarivača,
 - za izvođenje čeonih spojeva,
 - za sakupljanje i dodavanje praha,
- za čišćenje rubova šavova i obradu zavarenih konstrukcija;
- za ispravljanje zavarenih konstrukcija i poboljšanje svojstava zavarenih spojeva;
- za kontrolu i ispitivanje;
- specijalni uređaji za podizanje i transport.

2.2 Naprave za oslanjanje

Zakretna platforma ima mogućnost prihvatanja raznih naprava za oslanjanje na svoj okretni okvir. Najčešće korištene naprave za oslanjanje su ploče sa žljebovima u dva međusobno okomita pravca ili u samo jednom pravcu. Koriste se za radove pri sklapanju i zavarivanju. U njihove žljebove moguće je pritegnuti razne naprave za fiksiranje i pritiskivanje. Na slici 1. prikazana je jedna takva ploča sa žljebovima.



Slika 1. Ploča za radove u sklapanju i zavarivanju

Pod naprave za oslanjanje još se mogu navesti i stolovi za zavarivača koji se koriste pri ručnom i poluautomatskom zavarivanju dijelova malih i srednjih dimenzija. Ovi stolovi mogu biti opremljeni ventilatorom koji usisava prašinu i plinove i priključuje se na glavnu ventilaciju u postrojenju. Mogu biti opremljeni i rasvjetnim tijelima za lokalno osvjetljenje, razno raznim spremnicima za alat, elektrode...

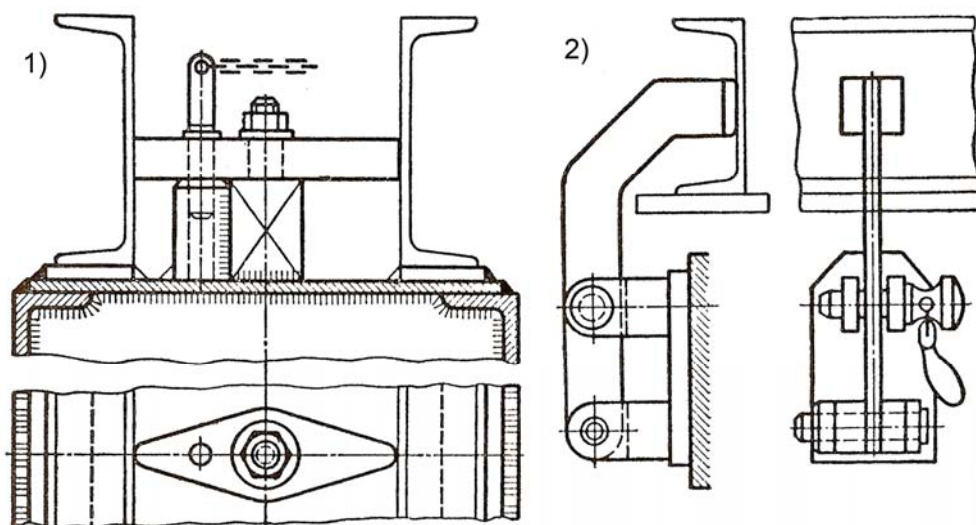
Također pod naprave za oslanjanje mogu se navesti i razne police koje se izrađuju zavisno o masi i gabaritima dijelova koji se zavaruju.

2.3 Elementi za fiksiranje i pričvršćivanje

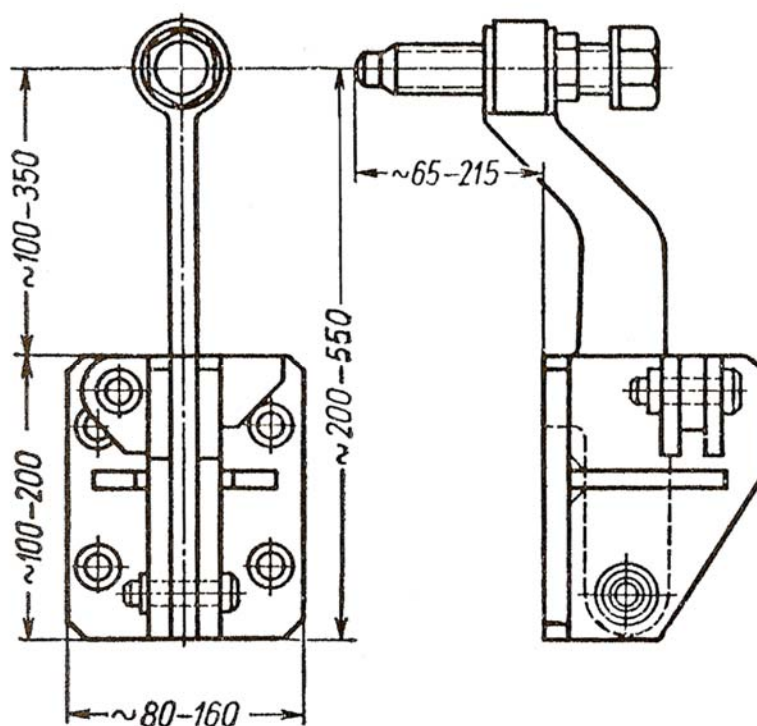
Glavni elementi kompletne opreme za sklapanje zavarenih konstrukcija su elementi za fiksiranje i pričvršćivanje. Ovi elementi se montiraju na ploče opisane u prethodnom poglavlju ili direktno na okvir konstrukcije platforme. U elemente za fiksiranje spadaju razni graničnici, trnovi, prizme, šablone.

Graničnike dijelimo na stalne, umetnute i preklopne. Stalni graničnici su mehanički obrađene pločice, kugle ili kutnici, pričvršćeni na postolju naprave za sklapanje zavarivanjem. Okretni, preklopni, pokretni i skidajući graničnici koriste se u

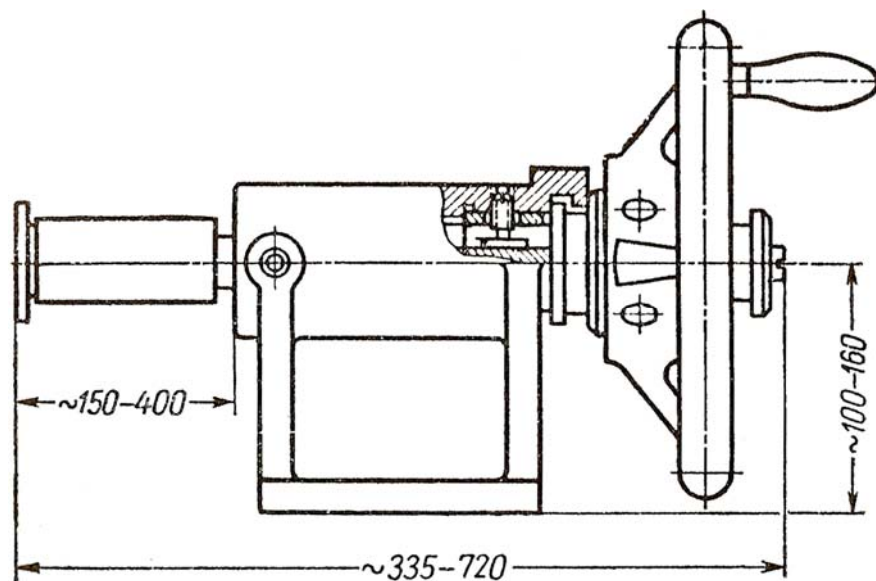
slučajevima kada je nemoguće da se čvor koji se sklapa izvadi iz alata pri primjeni stalnih graničnika. Na sljedećim slikama prikazani su neki od navedenih tipova graničnika.



Slika 2. Graničnici: 1 - okretni, 2 – preklopni

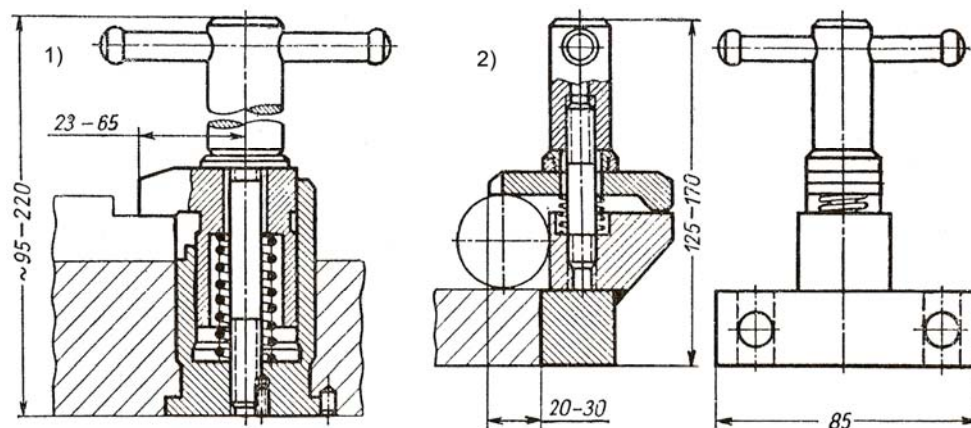


Slika 3. Preklopni regulirajući graničnik



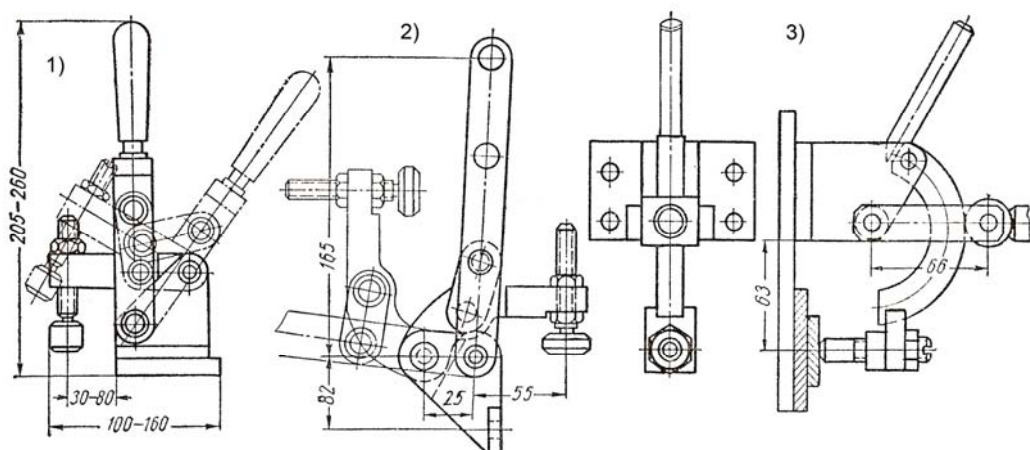
Slika 4. Pokretni graničnik

Elementi za pričvršćivanje se dijele na stege sa ručnim pogonom i s mehaniziranim pogonom. Stege s ručnim pogonom mogu biti: zavojne, polužne, polužno-zavojne, ekscentarske. Zavojne stege osiguravaju čvrsto i sigurno pričvršćivanje dijelova koji se sklapaju, jednostavne su po konstrukciji i korištenju. Ozbiljniji nedostatak im je niska proizvodnost pri njihovom opsluživanju. Na slici 5. prikazani su neki od tipova zavojnih stega.



Slika 5. Zavojne stege : 1 – s gornjim zahvatom, 2 - s okretnim zahvatom

Polužne stege su brzodjelujuće i primjenjuju se kada slučajno raskidanje veze između dijelova ne predstavlja opasnost za radnike i ne dovodi do havarije. Na slici 6. mogu se vidjeti neki tipovi ovih stega.



Slika 6. Polužne stege: 1 - s malim zahvatom poluge, 2 - s pričvršćivanjem na obodu, 3 - polužno-ekscentarske

Najveća proizvodnost naprava za sklapanje i zavarivanje, olakšanje uvjeta rada i povišenje točnosti i kvalitete radova pri sklapanju postiže se korištenjem pneumatskih, hidrauličkih, pneumohidrauličkih, vakuumskih i magnetskih pričvršćujućih uređaja. Pneumatske stege dijele se prema obliku davanja stezne sile i to na stege sa direktnim djelovanjem i polužne. Prema obliku pneumatskog pogona dijele se na klipne i na stege sa dijafragmama. Prema načinu pričvršćivanja pogona dijele se na nepokretne, pokretne i plivajuće. Hidrauličke stege omogućuju da se znatno povećaju sile pri pričvršćivanju dijelova. Pneumohidraulični pogon omogućava da se poveća brzina djelovanja hidrauličkih stega.

2.4 Uređaji za okretanje

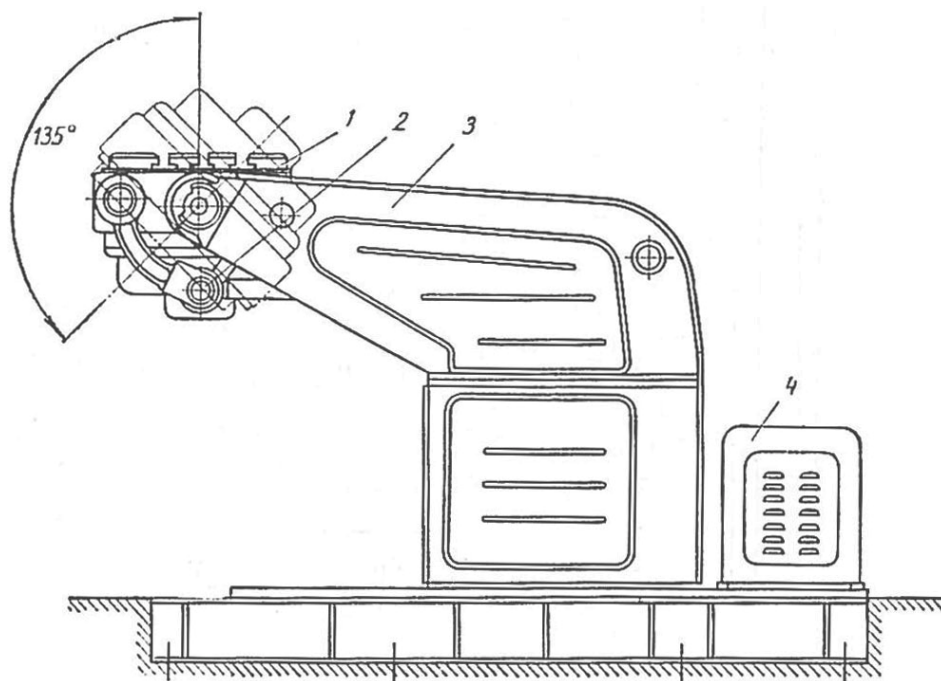
Platforma za zavarivanje, koja je tema ovog rada spada pod mehaničku opremu za zavarivanje i to u podskupinu uređaja za okretanje, pa će se u ovom odlomku malo više prikazati ova skupina opreme za proizvodnju zavarenih konstrukcija. Funkcija ovih uređaja je da dovedu obradak u najbolju poziciju za zavarivanje.

Podjela uređaja za okretanje:

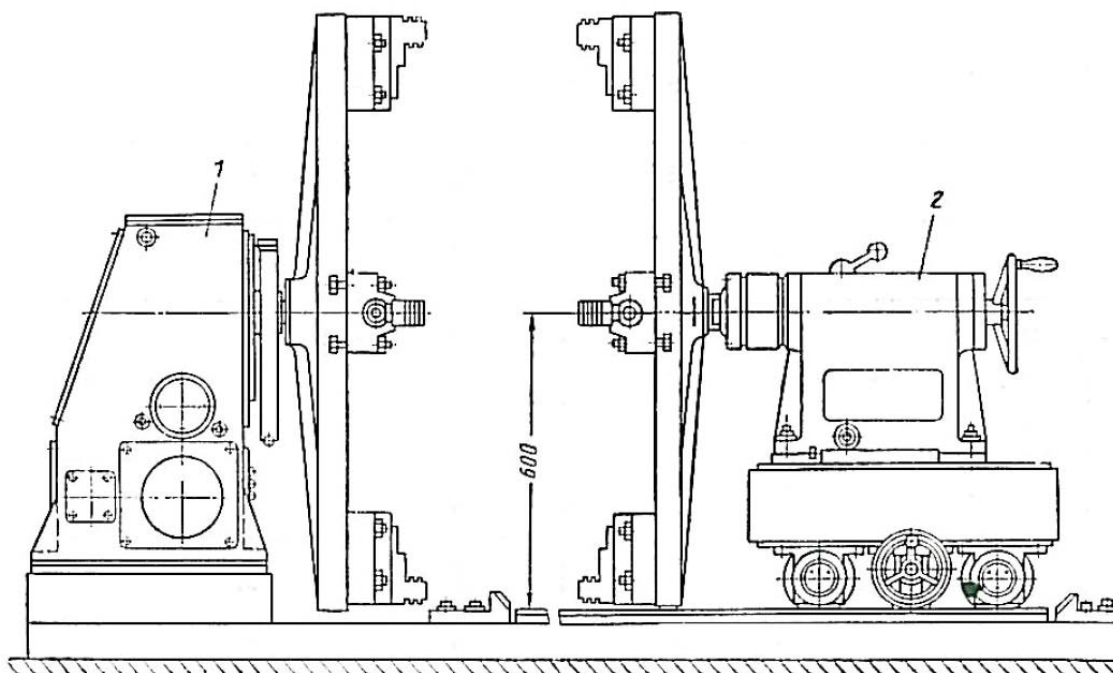
- manipulatori su predviđeni za postavljanje (skošenje) komada u najbolji položaj za zavarivanje i okretanje brzinom zavarivanja, koriste se za zavarivanje kružnih šavova,

- pozicioneri su slični manipulatorima samo što imaju hodno okretanje komada pa nisu pogodni za automatsko zavarivanje kružnih šavova, koriste se za zavarivanje okvirnih konstrukcija;
- strojevi za okretanje brzinom zavarivanja (izradak se zavaruje prilikom okretanja);
- strojevi za zakretanje (izradak se zakreće u najpogodniji položaj za zavarivanje, te se potom zavaruje):
 - jednostupni strojevi za zakretanje,
 - dvostupni strojevi za zakretanje,
 - lančani strojevi za zakretanje,
 - prstenasti strojevi za zakretanje,
 - strojevi za zakretanje sa ručnim dizalicama;
- štandovi za okretanje radnom (zavarivačkom) brzinom služe za zavarivanje cilindričnih komada;
- okretni stolovi služe za okretanje malih komada pri ručnom i poluatomatskom zavarivanju.

Na sljedećih nekoliko slika prikazani su neki od navedenih uređaja.

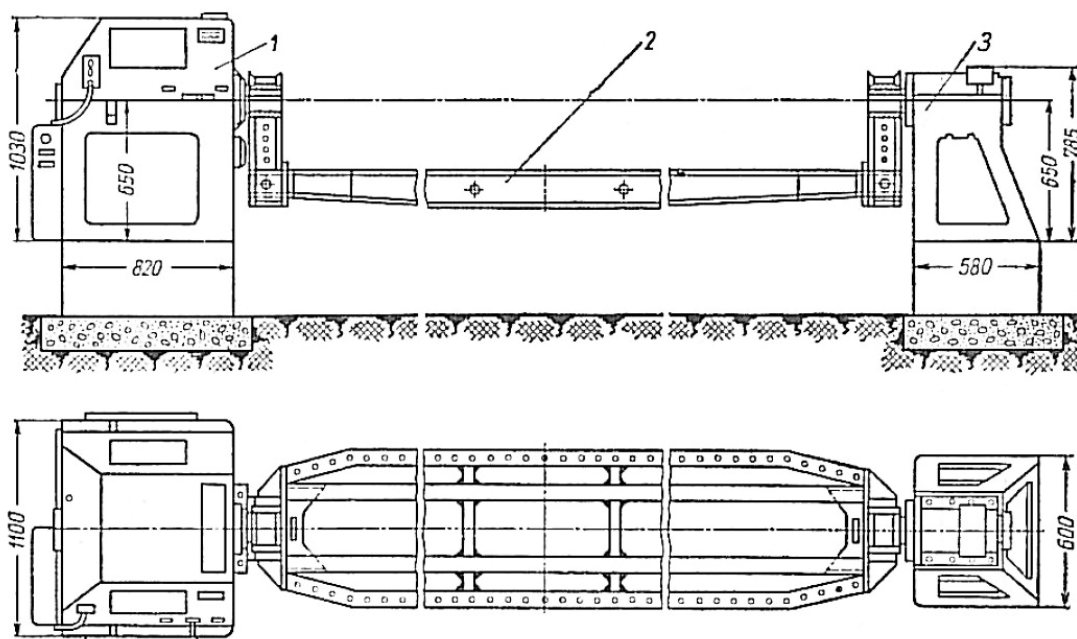


Slika 7. Opći izgled manipulatora: 1 - stol, 2 - mehanizam nagiba, 3 - kućište, 4 - hidraulički pogon



Slika 8. Stroj za okretanje sa horizontalnom osi okretanja VG-0,25: 1 - prednji pogonski stup, 2 - zadnji slobodni stup

Na slici 9. prikazan je dvostupni stroj za zakretanje u horizontalni položaj koji omogućava pričvršćivanje naprava za fiksiranje na svoj izmjenjivi okvir. Zakretna platforma za zavarivanje je mobilna verzija ovog stroja koja omogućuje da se ista vrlo jednostavno uz pomoć viličara ili nekog drugog vučnog sredstva po potrebi prebaci na neku drugu lokaciju u pogonu.



Slika 9. Dvostupni stroj za zakretanje UDK-3 : 1 – prednji pogonski stup, 2 – Izmjenjivi okvir, 3 – zadnji slobodni stup

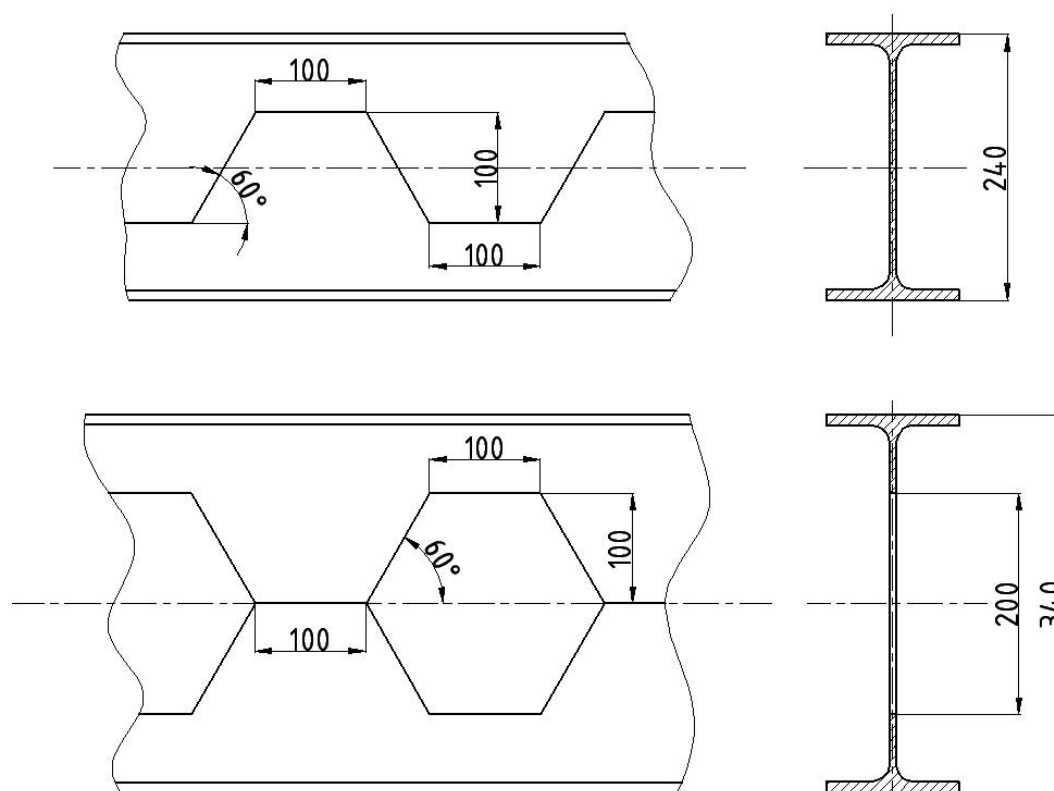
2.5 Zakretna platforma za zavarivanje

Zakretna platforma za zavarivanje se koristi u svrhu dovođenja izradaka (nosivih okvira pregradnih stijena iz čeličnih cijevi) u horizontalni položaj zakretanjem okvira platforme, te se zatim zavarivač penje na posebnu mobilnu platformu te zavaruje izradke. Nakon toga okvir se ponovno zakreće u vertikalni položaj te se sada zavareni dijelovi skidaju sa platforme. Zakretna platforma, odnosno bilo koji uređaj za zakretanje koristi pogonski stroj koji je preko izlaznog vratila vezan za rotirajući okvir, na koji se vijčanom vezom pričvršćuju naprave za fiksiranje izradaka. Za izradu okvira koristit će se web-nosači u svrhu smanjenja mase. Zbog velike mase platforme i samog tereta potreban je dovoljno velik izlazni zakretni moment koji će se moći suprotstaviti težini platforme, odnosno tereta. Zbog tog razloga je iza pogonskog stroja potreban prijenosnik snage, koji će pretvoriti relativno malen izlazni moment motora u dovoljno velik za svladavanje ovih otpora. Zbog same namjene platforme potrebna je velika krutost okvira, zato je predviđeno da je dopušteni progib svega 5 mm. Zbog potrebe za laganom rastavljiivošću vratila se na okvir vežu prirubničkom vezom. U ležajna mjesta će se ugraditi samoudesivi dvoredni bačvasti valjni ležajevi koji anuliraju eventualne netočnosti izrade i sami se pozicioniraju u najbolji položaj uslijed progiba samog okvira. Sile u ležajevima se preko ležajnog mjesta prenose na temeljne nosače. Zbog potrebe za pomicanjem i premještanjem platforme, na temeljne nosače su pričvršćeni kotači sa kočnicom, te se preko njih sile s temeljnih nosača prenose na podlogu. Zbog potrebne modularnosti platforme projektiran je dodatni okvir dimenzija 3x3 m koji se vijcima veže na prethodni okvir duljine 9 m, te se na taj način dobiva duža verzija platforme ukupne duljine okvira od 12 m. Dva segmenta se spajaju vijcima, a centriraju se centralnim svornjakom i bočnim zaticima da se olakša umetanje i pritezanje vijaka u za to predviđene provrte. Zbog sigurnosti s druge strane platforme, nasuprot motora predviđen je fiksator koji omogućuje da se platforma pozicionira u određeni položaj i sigurno na njemu zadrži tako da ne dolazi do pomaka ukoliko se zavarivač nalazi na samoj platformi prilikom zavarivanja dijelova.

3 Dimenzioniranje nosača

3.1 Web-nosači

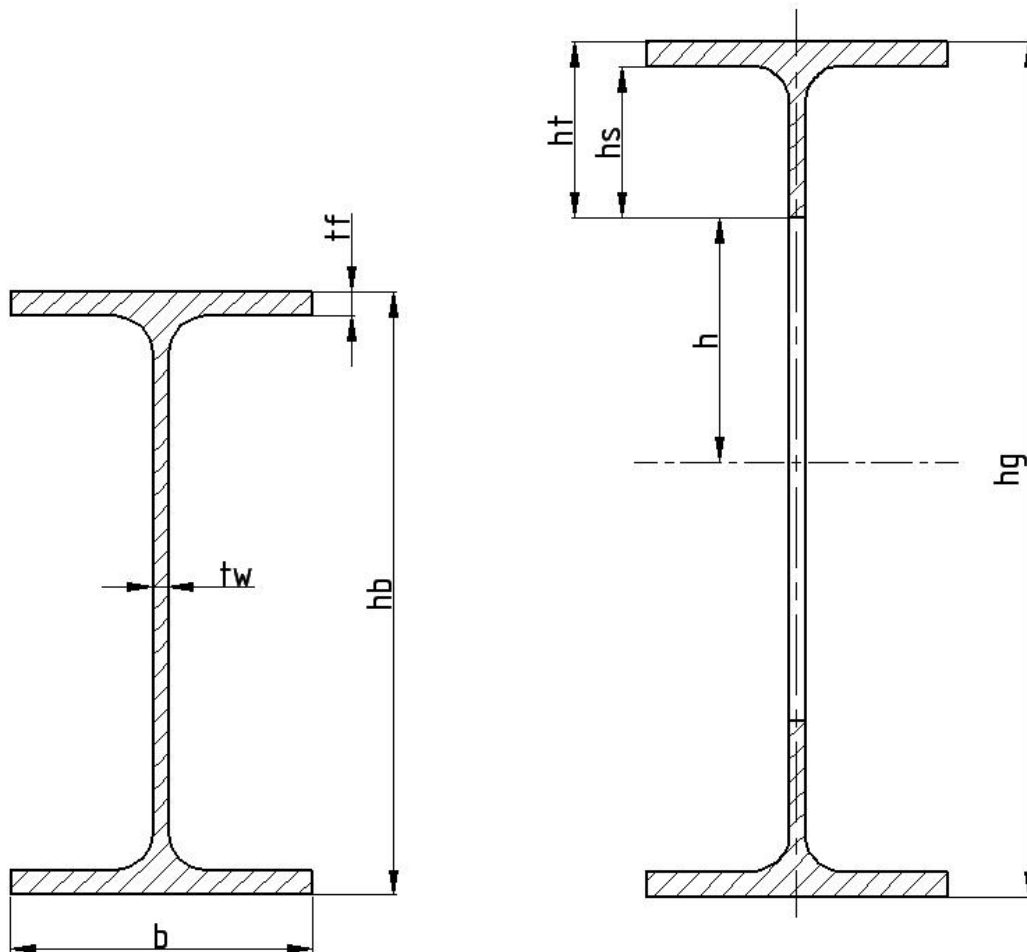
Zavarena konstrukcija zakretne platforme izrađena je od web-nosača. Ovi nosači dobivaju se iz IPE profila tako da se režu plamenom ili plazmom na način prikazan na slici 10. Zatim se dva dobivena djela profila aksijalno razmiču te se okreću tako da se početak jedne polovice profila čeonno zavaruje za kraj druge polovice. Zavar je tako izveden da se postigne potpuna penetracija u spoju sa jednim prolazom elektrode na svakoj strani spojnog mjesta, bez potrebe za prethodnim oblikovanjem rubova, odnosno pripremom zavora. Na taj način dobiva se web-nosač s šesterokutnim otvorima, kojemu je povećan moment otpora u odnosu na originalni profil iz kojega je izrađen. Ovom metodom nema gubitaka materijala, te je na veće količine ušteda poprilična ukoliko se uspoređuje sa punim IPE profilom sličnih geometrijskih karakteristika. Isto tako masa mu je manja nego da se koristi puni IPE profil koji ima visinu jednaku onoj dobivenog web-nosača. Ovako izrađen web-nosač također ima i višestruko veću krutost, koja je u slučaju zakretne platforme za zavarivanje jako bitna da bi se mogao postići progib od svega 5 mm na 12 m ukupne duljine konstrukcije [2].



Slika 10. Način dobivanja web-nosača iz IPE profila

3.2 Računanje progiba za nosač proizvoljnog profila

Nosače od kojih je sastavljena platforma potrebno je dimenzionirati na maksimalni dopušteni progib $w_{\text{dop}}=5$ mm. Ukoliko odabrani profil ne zadovoljava, potrebno je varirati osnovni profil ili visinu reza. Na slici 11 prikazan je presjek nosača od IPE profila te po jedna verzija web-nosača koja je izrađena iz tog profila [3].



Slika 11. IPE profil i web-nosač izrađen iz tog profila

Odabran profil IPE 240

$$h_b = 240\text{mm}$$

$$b = 120\text{mm}$$

$$t_w = 6,2\text{mm}$$

$$t_f = 9,8\text{mm}$$

$$G = 30,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Odabrana je visina reza $h=100\text{mm}$, te se nakon provedenog rezanja i zavarivanja dobiva web-nosač sljedećih dimenzija:

$$h_g = h_b + h = 240 + 100 = 340\text{mm}$$

$$h_t = \frac{h_g}{2} - h = 170 - 100 = 70\text{mm}$$

$$h_s = h_t - t_f = 70 - 9,8 = 60,2\text{mm}$$

Nakon toga slijedi proračun progiba web-nosača

$$w_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

$$q = 800 + G \cdot g = 800 + 30,7 \cdot 9,81 = 1101,2 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$I_y = \frac{b \cdot h_g^3}{12} - \frac{(b - t_w) \cdot (h_g - 2t_f)^3}{12} - \frac{t_w \cdot (2h)^3}{12}$$

$$I_y = \frac{120 \cdot 340^3}{12} - \frac{113,8 \cdot 320,4^3}{12} - \frac{6,2 \cdot 200^3}{12} = 7699\text{cm}^4$$

$$w_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1101,2 \cdot 12^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 7699 \cdot 10^{-8}} = 18,39\text{mm}$$

Dobiveni progib $w_{\max}=18\text{ mm}$ veći je od dopuštenog te je potrebno izabrati drugi web-nosač, odnosno početni originalni IPE nosač.

Odabran profil IPE 360

$$h_b = 360\text{mm}$$

$$b = 170\text{mm}$$

$$t_w = 8\text{mm}$$

$$t_f = 12,7\text{mm}$$

$$G = 57,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Odabrana je visina reza $h=175\text{ mm}$, te se nakon provedenog rezanja i zavarivanja dobiva web-nosač sljedećih dimenzija:

$$h_g = h_b + h = 360 + 175 = 535\text{mm}$$

$$h_t = \frac{h_g}{2} - h = 267,5 - 175 = 92,5\text{mm}$$

$$h_s = h_t - t_f = 92,5 - 12,7 = 79,8\text{mm}$$

Proračun novog web-nosača na progib:

$$w_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

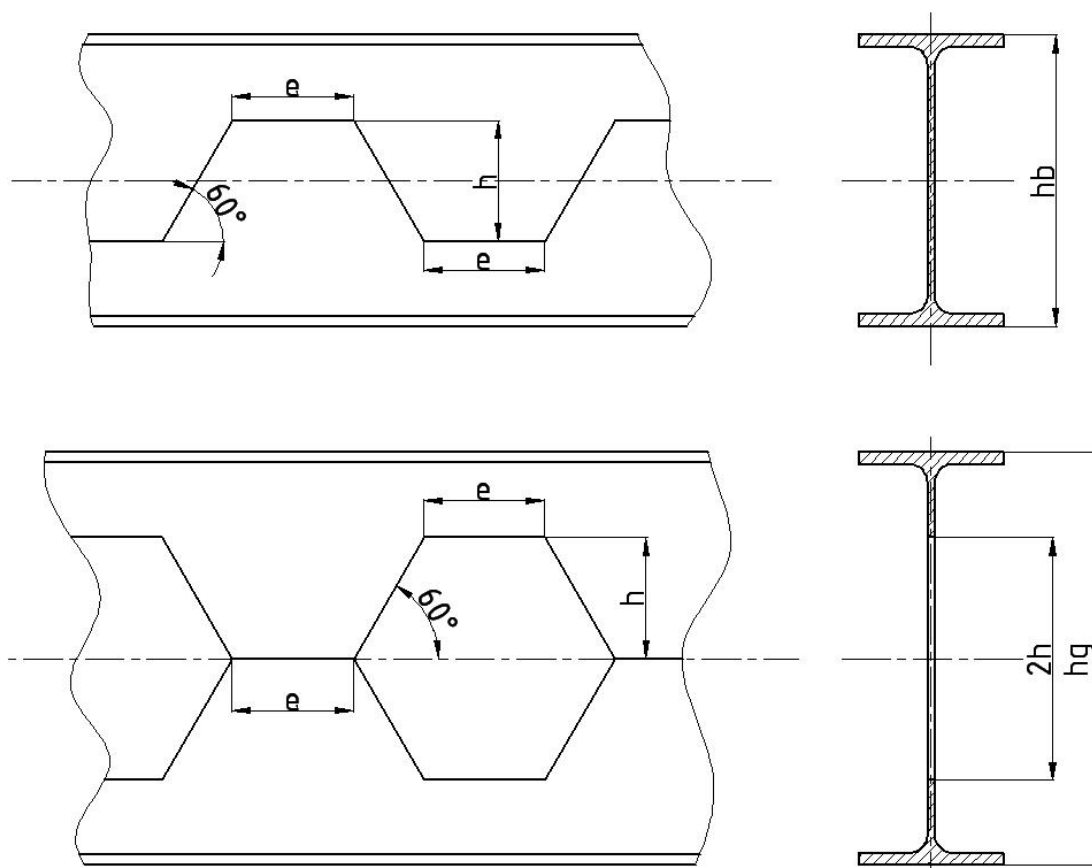
$$q = 800 + G \cdot g = 800 + 57,1 \cdot 9,81 = 1360 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$I_y = \frac{b \cdot h_g^3}{12} - \frac{(b - t_w) \cdot (h_g - 2t_f)^3}{12} - \frac{t_w \cdot (2h)^3}{12}$$

$$I_y = \frac{170 \cdot 535^3}{12} - \frac{162 \cdot 509,6^3}{12} - \frac{8 \cdot 350^3}{12} = 35419 \text{cm}^4$$

$$w_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1360 \cdot 12^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 34838 \cdot 10^{-8}} = 4,94 \text{mm}$$

3.3 Dimenzije otvora web-nosača



Slika 12. Primjer izrade i dimenzije otvora web-nosača

3.4 Broj šesterokutnih otvora na web-nosaču

Uzdužni nosač duljine 9m

Duljina horizontalne stranice šesterokutnog otvora $e=190$ mm

Razmak između otvora $e_1=190$ mm

$$n = \frac{l - e}{s}$$

$$s = e + e_1 + 2 \cdot \frac{h}{\tan \alpha} = 190 + 190 + 2 \cdot \frac{175}{\tan 60^\circ} = 582,07 \text{ mm}$$

$$n = \frac{9 - 0,175}{0,58207} = 15,2$$

Odabrano $n=15$ otvora

Poprečni nosač duljine 3m

Duljina horizontalne stranice šesterokutnog otvora $e = 155$ mm

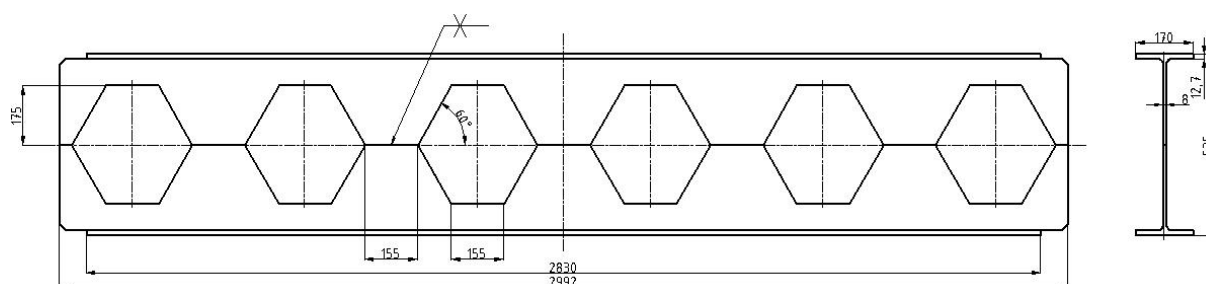
Razmak između otvora $e_1 = 155$ mm

$$n = \frac{l - e}{s}$$

$$s = e + e_1 + 2 \cdot \frac{h}{\tan \alpha} = 155 + 155 + 2 \cdot \frac{175}{\tan 60^\circ} = 512,07 \text{ mm}$$

$$n = \frac{3 - 0,175}{0,51207} = 5,52$$

Odabrano $n=6$ otvora



Slika 13. Poprečni nosač sa pripremom za zavarivanje

4 Dimenzioniranje vratila

Potrebno je dimenzionirati vratilo koje zakreće platformu oko središnje osi. Proračun se računa za najgori mogući položaj gdje će i moment uvijanja biti najveći, a to je kada je platforma zakrenuta u vertikalnom položaju kao na slici 14. Pošto vratilo prolazi kroz sredinu platforme nosači od kojih je ona sastavljena su u ravnoteži pa niti ne rade moment oko središta rotacije. Moment radi jedino težina tereta Q , čija je maksimalna visina 350 mm. Stoga se u obzir uzima jedino teret na platformi čije težište u slučaju kada je platforma u vertikalnom položaju djeluje kao što je prikazano na slici 14. Nakon što se dobije moment uvijanja može se izračunati i minimalni promjer vratila na ležajnom mjestu, pošto je na tom djelu vratilo opterećeno samo na uvijanje. Nakon toga može se izabrati prijenosnik s motorom, čiji će gabariti i priključne dimenzije dalje uvjetovati dimenzije vratila.

4.1 Moment uvijanja

Udaljenost težišta mase koja opterećuje platformu udaljena je od ruba nosača za 175mm kako se može vidjeti na slici 14. Stoga je u formulu za računanje momenta na visinu profila potrebno dodati i tu visinu [4].

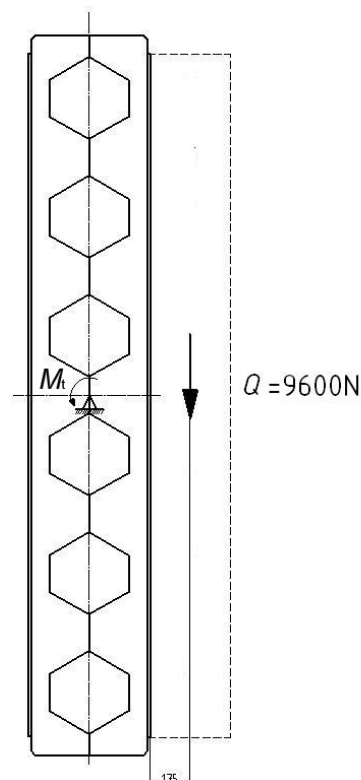
Strojarski priručnik str. 533.

za materijal vratila E 335 (DIN St 60-2)

$$\tau_{tDI} = 230 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_t = Q \cdot \left(\frac{h_g}{2} + \frac{h_Q}{2} \right) = 9600 \cdot \left(\frac{0,535}{2} + \frac{0,350}{2} \right) = 4248 \text{ Nm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \tau_{tDI}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4248000}{\pi \cdot 230}} = 45,48 \text{ mm}$$



Slika 14. Moment uvijanja na vratilu

Odabran promjer na mjestu ležaja $d=50$ mm

Odabran samoudesivi dvoredni bačvasti ležaj 22210 E [5] :

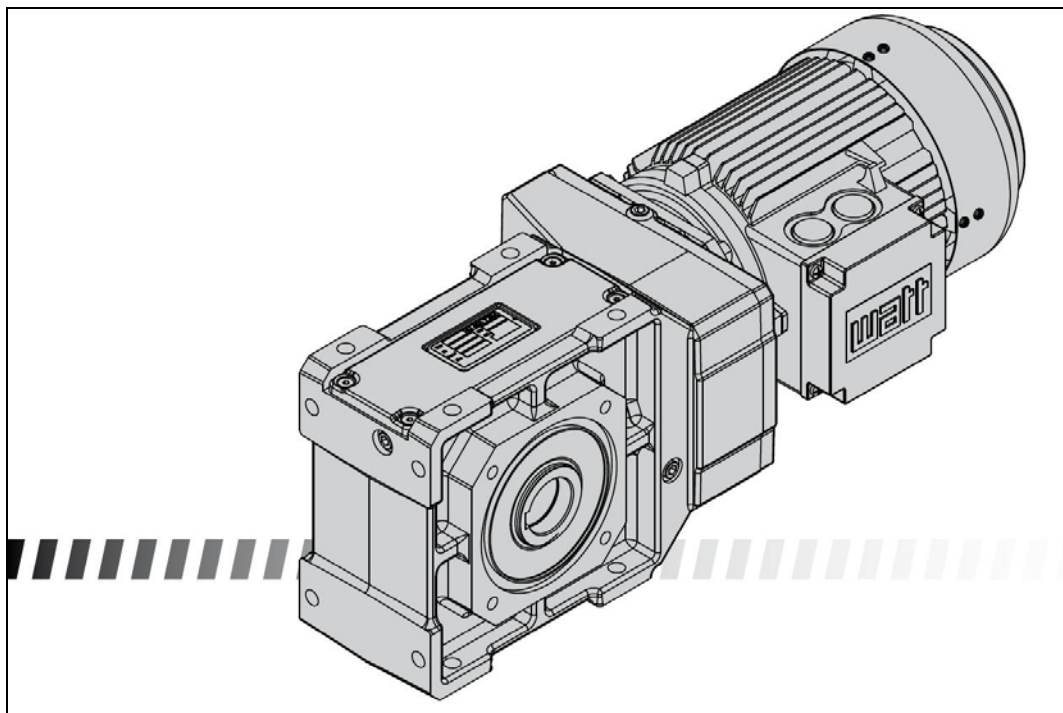
Unutarnji promjer ležaja koji nasjeda na vratilo	$d=50\text{mm}$
Vanjski promjer ležaja koji nasjeda na ležajno umjesto	$D=90\text{mm}$
Ukupna širina ležaja	$b=23\text{mm}$
Statička nosivost ležaja	$C=104\text{kN}$

4.2 Izbor reduktora i motora za okretanje vratila

Potrebno je odabrati reduktor sa elektromotorom koji će moći savladati zakretni moment $M_t=4248$ Nm koji se javlja uslijed tereta Q . Također postavlja se i zahtjev da brzina vrtnje ne bude veća od $n=1$ min⁻¹.

Iz kataloga tvrtke Watt-drive odabran je peterostupanjski reduktor sa elektromotorom, model KUA 85D_72N4 [6]

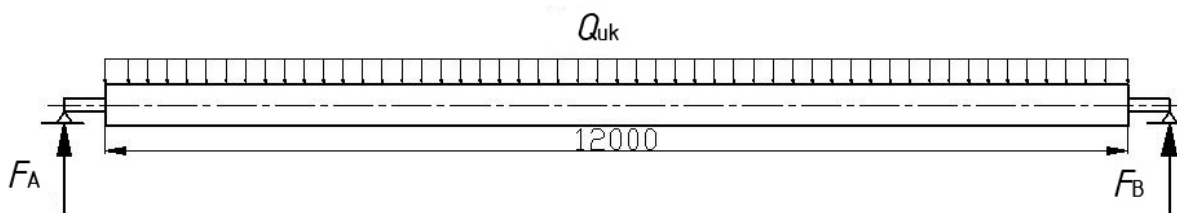
Broj okretaja izlaznog vratila	$n_2 = 0,66\text{min}^{-1}$
Izlazni moment	$M_2 = 4712\text{Nm}$
Snaga	$P = 0,37\text{kW}$
Prijenosni omjer	$i = 2012$
Broj okretaja elektromotora	$n_{\text{mot}} = 1330\text{min}^{-1}$
Broj polova elektromotora	$p = 4$
Ukupna masa reduktora i motora iznosi	$m_r = 152\text{kg}$
Potrebna priključna duljina vratila	$l = 192,5\text{mm}$
Izlazni promjer vratila	$d = 70\text{mm}$



Slika 15. Reduktor sa elektromotorom

4.3 Reducirani moment uslijed savijanja i uvijanja

Na vratilu se osim uvijanja javlja i savijanje koje je također potrebno uzeti u obzir. Pošto je u prethodnom poglavlju izabran nasadni reduktor koji se pomoću priрубnice vijcima veže za ležajno mjesto, težina reduktora ne opterećuje vratilo, odnosno ležajeve nego se moment savijanja prenosi preko temeljnog nosača na podlogu, pa s toga niti nije uzeta u obzir prilikom računanja reduciranog momenta. Na slici 16. su shematski prikazani opterećenje platforme, te sile reakcije u ležajima.



Slika 16. Prikaz opterećenja platforme

Ukupna težina platforme koja opterećuje ležajeve:

$$Q_{uk} = 9600 + G_{uk}$$

$$G_{uk} = (2 \cdot 12 + 6 \cdot 3) \cdot 57,1 \cdot 9,81 = 23526 \text{ N}$$

$$Q_{uk} = 9600 + 12649 \cong 33126 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0$$

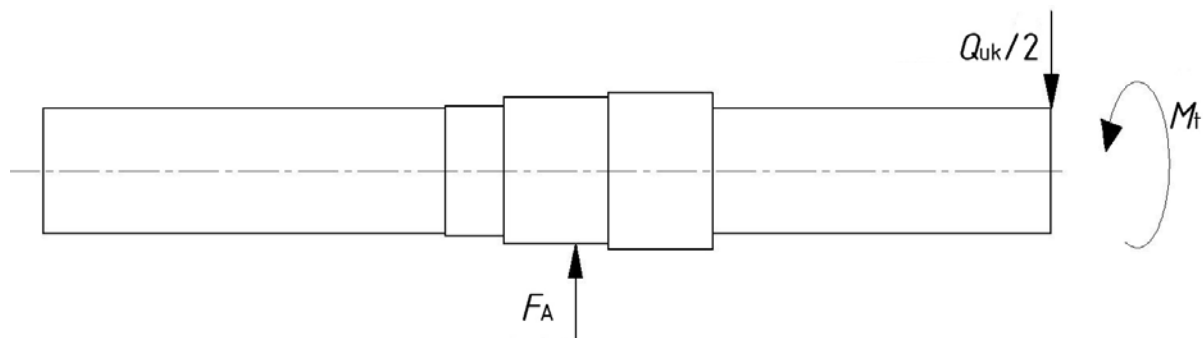
$$F_A + F_B = Q_{uk} = 33126 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$Q_{uk} \cdot 6 - F_B \cdot 12 = 0$$

$$F_B = \frac{33126 \cdot 6}{12} = 16563 \text{ N}$$

$$F_A = F_B = 16563 \text{ N}$$



Slika 17. Prikaz opterećenja na vratilu

$$M_{red} = \sqrt{M^2 + 0,75(\alpha_0 M_t)^2}$$

M -moment savijanja promatranog presjeka

M_t -moment uvijanja promatranog presjeka

α_0 -faktor čvrstoće materijala vratila obzirom na način njegovog opterećenja, odnosno naprezanja

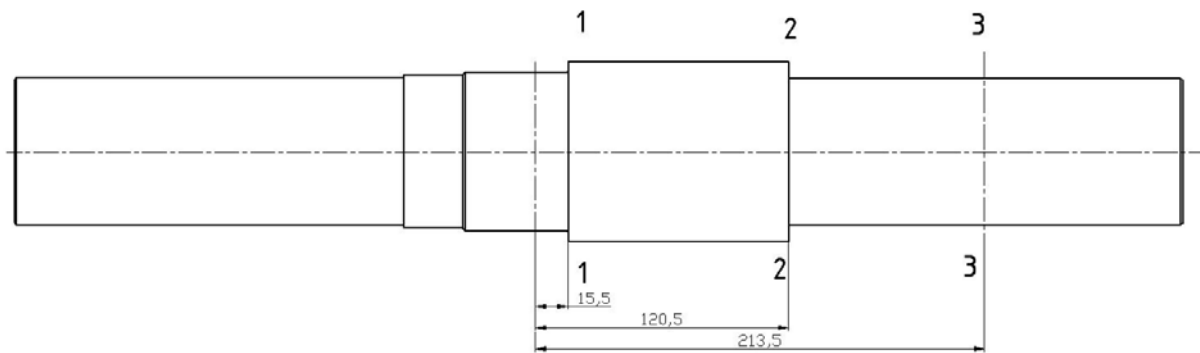
Strojarski priručnik str. 533 za materijal vratila E 335 (St60-29) slijedi:

$$\sigma_{fDN} = 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{tDI} = 230 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDI}} = \frac{300}{1,73 \cdot 230} = 0,754$$

$$\sigma_{fDNdop} = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Slika 18. Kontrolni presjeci na vratilu

Reducirani moment na presjeku 1-1:

$$M_1 = F_A \cdot 0,0125 = 16563 \cdot 0,0155 = 257 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{red1}} = \sqrt{M_1^2 + 0,75(\alpha_0 M_t)^2}$$

$$M_{\text{red1}} = \sqrt{257^2 + 0,75(0,754 \cdot 4248)^2} = 2786 \text{ Nm}$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{32 M_{\text{red1}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{fDNdop}}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2786000}{\pi \cdot 140}} = 58,7 \text{ mm}$$

Reducirani moment na presjeku 2-2:

$$M_2 = F_A \cdot 0,0625 = 16563 \cdot 0,1205 = 1995,8 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{red2}} = \sqrt{M_2^2 + 0,75(\alpha_0 M_t)^2}$$

$$M_{\text{red2}} = \sqrt{1995,8^2 + 0,75(0,754 \cdot 4248)^2} = 3417 \text{ Nm}$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{32 M_{\text{red2}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{fDNdop}}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3417000}{\pi \cdot 140}} = 62,9 \text{ mm}$$

Reducirani moment na presjeku 3-3:

$$M_3 = F_A \cdot 0,2135 = 16563 \cdot 0,2135 = 3536,2 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{red3}} = \sqrt{M_3^2 + 0,75(\alpha_0 M_t)^2}$$

$$M_{\text{red3}} = \sqrt{3536,2^2 + 0,75(0,754 \cdot 4248)^2} = 4494 \text{ Nm}$$

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{32 M_{\text{red3}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{fDNdop}}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 4494000}{\pi \cdot 140}} = 68,8 \text{ mm}$$

Potrebno je promijeniti promjer vratila d_1 na mjestu gdje dolazi ležaj, te također i odabrati drugi ležaj. Ovo je potrebno iz razloga jer se vratilo mora stupnjevati, a najmanji promjer je onaj na izlazu iz reduktora $d=70$ mm.

Promjeri stupnjeva vratila:

$$d_1 = 75 \text{ mm}$$

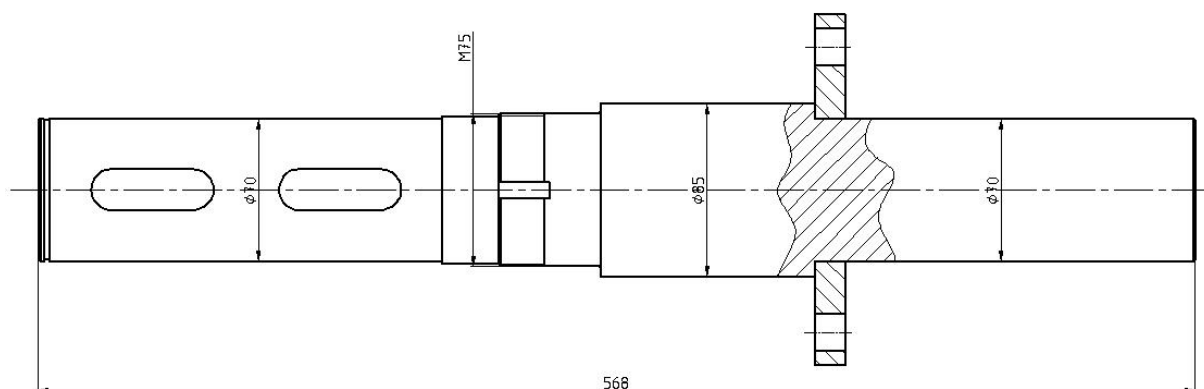
$$d_2 = 85 \text{ mm}$$

$$d_3 = 70 \text{ mm}$$

Odabran ležaj 22215 E sljedećih karakteristika:

Unutarnji promjer ležaja koji nasjeda na vratilo	$d=75$ mm
Vanjski promjer ležaja koji nasjeda na ležajno mjesto	$D=130$ mm
Ukupna širina ležaja	$b=31$ mm
Statička nosivost ležaja	$C=212$ kN

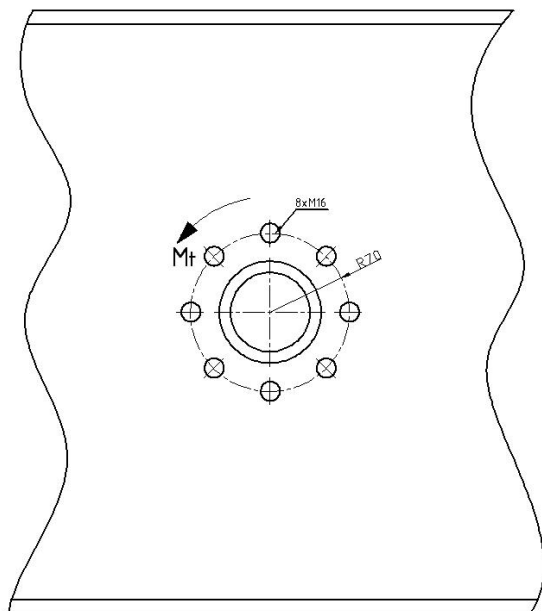
Na vratilu je potrebno predvidjeti mjesta za aksijalno fiksiranje ležaja. Također je potrebno i dodatno obraditi stupnjeve na kojima će se nalaziti brtve. Vratilo se na ostatak konstrukcije veže priрубnički pa je potrebno predvidjeti i mjesto na koje će se zavariti priрубnica. Na slici 19. je prikazan konačni izgled pogonskog vratila.



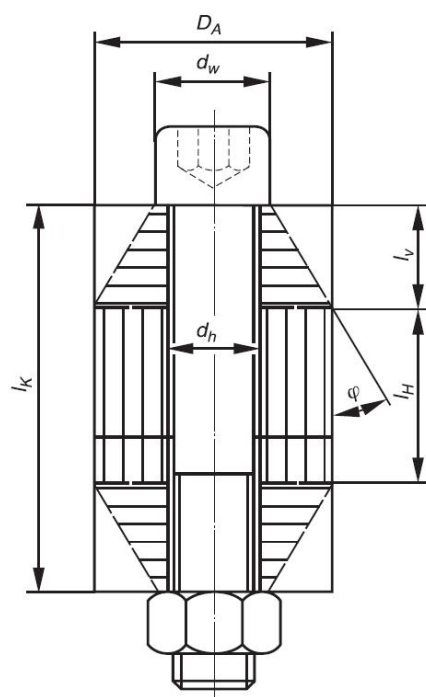
Slika 19. Konačni izgled pogonskog vratila

4.4 Spoj vratila s platformom

Vratilo se s platformom spaja pomoću prirubnice koja je zavarena na samo vratilo, te se pomoću vijaka pričvršćuje na platformu. Ovo rješenje je primijenjeno zato što se mora osigurati lagana rastavljivost te relativno jeftina izrada samog spoja. To se ne bi moglo postići da se koristio spoj perom pošto bi se utor za pero morao dubiti na samom nosaču u koji je zavarena čahura. To nije moguće jednostavno izvesti zbog dimenzija same platforme. Proračun vijčanog spoja vrši se po napucima VDI-a (Verein Deutscher Ingenieure), Njemačke Udruge Inženjera. Na slici 20. prikazan je raspored vijaka koji su korišteni za spoj vratila i platforme [7].



Slika 20. Raspored vijaka



Slika 21. Raspodjela opterećenja unutar vijčanog spoja

Potrebno je proračunati silu na vijku:

$$F_{Q_{\max}} = \frac{2 \cdot M_t}{n \cdot D_t} = \frac{2 \cdot 4218}{8 \cdot 0,140} = 7532 \text{ N}$$

n - broj vijaka

D_t - promjer na kojem su raspoređeni vijci

Po preporuci je odabrana sljedeća veća vrijednost za silu $F_{Q_{\max}} = 10000 \text{ N}$ iz tablice 2.

Nakon toga potrebno je također iz tablice 2. odrediti minimalnu i maksimalnu silu predzatezanja.

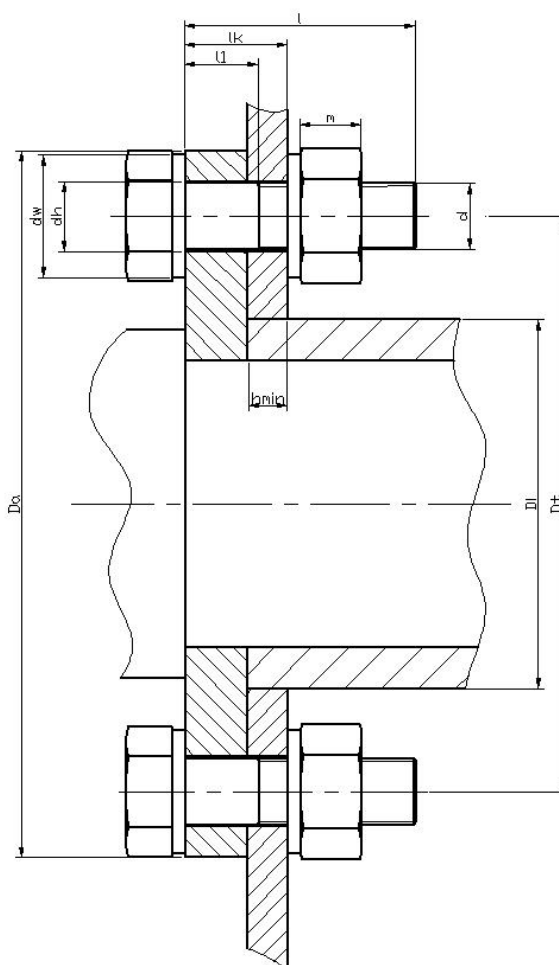
$$F_{Mmin} = 63000N$$

$$F_{Mmax} = 100000N$$

Za ove vrijednosti sila predzatezanja iz tablice su odabrani vijci M16 u klasi 10.9. Nadalje u tablici 3. navede su dimenzije vijčanog spoja te iznosi modula elastičnosti za materijale korištene u spoju.

1	2	3	4
Kraft in N	Nenndurchmesser in mm		
	Festigkeitsklasse		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1 000	3	3	3
1 600	3	3	3
2 500	3	3	4
4 000	4	4	5
6 300	4	5	6
10 000	5	6	8
16 000	6	8	10
25 000	8	10	12
40 000	10	12	14
63 000	12	14	16
100 000	16	18	20
160 000	20	22	24
250 000	24	27	30
400 000	30	33	36
630 000	36	39	

Tablica 2: Iskustvene vrijednosti nosivosti vijaka



Slika 22. Općeniti prikaz dimenzija potrebnih za proračun vijaka

Dimenzije prema: DIN EN ISO 4014, DIN EN 20 273, DIN EN ISO 4032	Vrijednosti materijala:
$d = 16 \text{ mm}$	$E_s = 2,05 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
$d_3 = 13,546 \text{ mm}$	$E_M = 2,05 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
$d_w = 30 \text{ mm}$	$E_P = 1,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
$d_h = 17 \text{ mm}$	
$P = 2 \text{ mm}$	
$d_{ha} = 17,7 \text{ mm}$ (skošenje provrta)	
$l = 56 \text{ mm}$	
$l_1 = 18 \text{ mm}$	
$l_k = 25 \text{ mm}$	
$D_i = 90 \text{ mm}$	
$D_a = 172 \text{ mm}$	
$D_t = 140 \text{ mm}$	
$m = 15 \text{ mm}$	
$A_{d3} = 144 \text{ mm}^2$	
$A_N = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 201,06 \text{ mm}^2$	
$h_{\min} = 10 \text{ mm}$	

Tablica 3. Dimenzije i materijali vijčanog spoja

Za pritezanje momentnim ključem odabran je iskustveni faktor pritezanja α_A dobivenim kalibracijskim testovima:

$$\alpha_A = 1,6$$

Da bi se prenijela definirana poprečna sila stezni spoj koji prenosi silu zahtjeva minimalnu silu pritezanja:

$$F_{FQ} = \frac{F_{Qmax}}{\mu_{Tmin}} = \frac{7532}{0,15} \approx 50kN$$

Da bi se izračunala elastičnost vijka, vijak se dijeli na karakteristične presjeke, koji uključuju presjek glave vijka, tijela vijka i navoja.

$$\delta_s = \delta_{SK} + \delta_1 + \dots + \delta_{Gew} + \delta_{Gm}$$

$$\delta_{SK} = \frac{0,5 \cdot d}{E_s \cdot A_N} = \frac{0,5 \cdot 16}{2,05 \cdot 10^5 \cdot 201,06} = 1,941 \cdot 10^{-7} \frac{mm}{N}$$

$$\delta_1 = \frac{l_1}{E_s \cdot A_N} = \frac{15}{2,05 \cdot 10^5 \cdot 201,06} = 3,639 \cdot 10^{-7} \frac{mm}{N}$$

$$\delta_{Gew} = \frac{l_{Gew}}{E_s \cdot A_{d3}} = \frac{l_k - l_1}{E_s \cdot A_{d3}} = \frac{7}{2,05 \cdot 10^5 \cdot 144} = 2,371 \cdot 10^{-7} \frac{mm}{N}$$

$$\delta_{Gm} = \delta_G + \delta_M = \frac{0,5 \cdot d}{E_s \cdot A_{d3}} + \frac{0,4 \cdot d}{E_M \cdot A_N} = \frac{0,5 \cdot 16}{2,05 \cdot 10^5 \cdot 144} + \frac{0,4 \cdot 16}{2,05 \cdot 10^5 \cdot 201,06} = 4,263 \cdot 10^{-7} \frac{mm}{N}$$

$$\delta_s = 1,941 \cdot 10^{-7} + 3,639 \cdot 10^{-7} + 2,371 \cdot 10^{-7} + 4,263 \cdot 10^{-7} = 1,221 \cdot 10^{-6} \frac{mm}{N}$$

Potrebno je izračunati granični promjer o kojemu ovisi kojom metodom će se proračunati vijci:

$$D_{A,gr} = d_w + l_k \cdot \tan \varphi_D$$

$$\beta_L = \frac{l_k}{d_w} = \frac{25}{30} = 0,833$$

$$D_{Am} = \frac{D_{A1} + D_{A2}}{2}$$

$$D_{A1} = \frac{D_a + D_i}{2} = \frac{172 + 90}{2} = 131$$

$$D_{A1} = 2 \cdot t - d_h = \frac{2 \cdot D_t}{n} \cdot \pi - d_h = \frac{280}{8} \cdot \pi - 17 = 93mm$$

$$D_{Am} = \frac{131 + 93}{2} = 112mm$$

$$y = \frac{D_{Am}}{d_w} = \frac{112}{22,5} = 4,977$$

$$\tan \varphi_D = 0,362 + 0,032 \ln \left(\frac{\beta_L}{2} \right) + 0,153 \ln y = 0,580$$

$$D_{A,gr} = 30 + 25 \cdot 0,580 = 44,5mm < 112mm = D_{Am}$$

Pošto je $D_{A,gr} < D_{Am}$ koristi se sljedeća jednadžba za računanje ukupne elastičnosti vijka:

$$\delta_P = \frac{2 \cdot \ln \left[\frac{(d_W + d_h) \cdot (d_W + l_k \cdot \tan \varphi_D - d_h)}{(d_W - d_h) \cdot (d_W + l_k \cdot \tan \varphi_D + d_h)} \right]}{E_P \cdot \pi \cdot d_h \cdot \tan \varphi_D} =$$

$$= \frac{2 \cdot \ln \left[\frac{(30 + 17) \cdot (30 + 25 \cdot 0,580 - 17)}{(30 - 17) \cdot (30 + 25 \cdot 0,580 + 17)} \right]}{1,05 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot 17 \cdot 0,580} = 3,256 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

Gubitak sile predzatezanja uslijed neravnina na površinama nalijeganja:

$$F_Z = \frac{f_z}{(\delta_s + \delta_P)}$$

$f_z = 11 \mu\text{m}$ - ukupno nalijeganje za kvalitetu površine $R_z < 10 \mu\text{m}$ i slučaj smičnog naprezanja

$$F_Z = \frac{11 \cdot 10^{-3}}{(1,221 \cdot 10^{-6} + 3,256 \cdot 10^{-7})} = 7112 \text{ N}$$

Prema tome minimalno, odnosno maksimalno predzatezanje vijaka mora biti:

$$F_{Mmin} = F_{FQ} + F_Z = 50 + 7,112 \approx 57,1 \text{ kN}$$

$$F_{Mmax} = \alpha_A \cdot F_{Mmin} = 1,6 \cdot 57 \approx 91,4 \text{ kN}$$

Potrebno je još napraviti provjeru vijaka s obzirom na granicu razvlačenja. U tablici 4. navedene su iskustvene vrijednosti sila i momenata predzatezanja:

M16 vijci

10.9 klasa vijaka

$$\mu_{Gmin} = 0,12$$

$$F_{MTab} = 118,8 \text{ kN}$$

$$F_{MTab} = 118,8 \text{ kN} > 91,4 \text{ kN} = F_{Mmax} \quad \text{zadovoljava}$$

Abm. Size	Fest.-Klasse Strength Grade	Montagevorspannkkräfte/Assembly preload $F_{M\text{Tab}}$ in kN für $\mu_G =$							Anziehdrehmomente/Tightening torque M_A in Nm für $\mu_K = \mu_G =$						
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M 4	8.8	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2	3,9	3,7	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6	4,1	4,5
	10.9	6,8	6,7	6,5	6,3	6,1	5,7	5,4	3,3	3,9	4,6	4,8	5,3	6,0	6,6
	12.9	8,0	7,8	7,6	7,4	7,1	6,7	6,3	3,9	4,5	5,1	5,6	6,2	7,0	7,8
M 5	8.8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,4	6,0	4,4	5,2	5,9	6,5	7,1	8,1	9,0
	10.9	11,1	10,8	10,6	10,3	10,0	9,4	8,8	6,5	7,6	8,6	9,5	10,4	11,9	13,2
	12.9	13,0	12,7	12,4	12,0	11,7	11,0	10,3	7,6	8,9	10,0	11,2	12,2	14,0	15,5
M 6	8.8	10,7	10,4	10,2	9,9	9,6	9,0	8,4	7,7	9,0	10,1	11,3	12,3	14,1	15,6
	10.9	15,7	15,3	14,9	14,5	14,1	13,2	12,4	11,3	13,2	14,9	16,5	18,0	20,7	22,9
	12.9	18,4	17,9	17,5	17,0	16,5	15,5	14,5	13,2	15,4	17,4	19,3	21,1	24,2	26,8
M 7	8.8	15,5	15,1	14,8	14,4	14,0	13,1	12,3	12,6	14,8	16,8	18,7	20,5	23,6	26,2
	10.9	22,7	22,5	21,7	21,1	20,5	19,3	18,1	18,5	21,7	24,7	27,5	30,1	34,7	38,5
	12.9	26,6	26,0	25,4	24,7	24,0	22,6	21,2	21,6	25,4	28,9	32,2	35,2	40,6	45,1
M 8	8.8	19,5	19,1	18,6	18,1	17,6	16,5	15,5	18,5	21,6	24,6	27,3	29,8	34,3	38,0
	10.9	28,7	28,0	27,3	26,6	25,8	24,3	22,7	27,2	31,8	36,1	40,1	43,8	50,3	55,8
	12.9	33,6	32,8	32,0	31,1	30,2	28,4	26,6	31,8	37,2	42,2	46,9	51,2	58,9	65,3
M 10	8.8	31,0	30,3	29,6	28,8	27,9	26,3	24,7	36	43	48	54	59	68	75
	10.9	45,6	44,5	43,4	42,2	41,0	38,6	36,2	53	63	71	79	87	100	110
	12.9	53,3	52,1	50,8	49,4	48,0	45,2	42,4	62	73	83	93	101	116	129
M 12	8.8	45,2	44,1	43,0	41,9	40,7	38,3	35,9	63	73	84	93	102	117	130
	10.9	66,3	64,8	63,2	61,5	59,8	56,3	52,8	92	108	123	137	149	172	191
	12.9	77,6	75,9	74,0	72,0	70,0	65,8	61,8	108	126	144	160	175	201	223
M 14	8.8	62,0	60,6	59,1	57,5	55,9	52,6	49,3	100	117	133	148	162	187	207
	10.9	91,0	88,9	86,7	84,4	82,1	77,2	72,5	146	172	195	218	238	274	304
	12.9	106,5	104,1	101,5	98,8	96,0	90,4	84,8	171	201	229	255	279	321	356
M 16	8.8	84,7	82,9	80,9	78,8	76,6	72,2	67,8	153	180	206	230	252	291	325
	10.9	124,4	121,7	118,8	115,7	112,6	106,1	99,6	224	264	302	338	370	428	477
	12.9	145,5	142,4	139,0	135,4	131,7	124,1	116,6	262	309	354	395	433	501	558

Tablica 4. Vrijedosti predzatezanja vijaka u ovisnosti o faktoru trenja i kvaliteti vijka

Također je potrebno provjeriti i površinski tlak na prijanjajućim površinama:

$$p_{\max} = \frac{F_{M\text{Tab}}}{A_{p\min}}$$

$$A_{p\min} = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_{ha}^2) = \frac{\pi}{4} (30^2 - 17,7^2) = 460,8 \text{ mm}^2$$

$$p_{\max} = \frac{F_{M\text{Tab}}}{A_{p\min}} = \frac{118800}{460,8} = 257,8 \text{ MPa}$$

Dopušteni površinski tlak za materijal EN-GJL-250 iznosi $p_G = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$p_{M\max} = 257,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = p_G \quad \text{zadovoljava}$$

Faktor sigurnosti protiv proklizavanja:

$$S_G = \frac{F_{KR\min}}{F_{FQ}} \geq 1,2$$

$$F_{KR\min} = \frac{F_{M\text{Tab}}}{\alpha_A} - F_Z = \frac{118800}{1,6} - 7112 = 67138 \text{ N}$$

$$S_G = \frac{67138}{50000} = 1,34 > 1,2 \quad \text{zadovoljava}$$

Smično naprezanje u vijku:

HV vijci kvalitete 10.9, Elementi strojeva 102. str.

$$\tau_{\text{dop}} = 270 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{F_{Q \text{ max}}}{A_r} = \frac{7532}{201,06} = 37,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \gg \tau_{\text{dop}}$$

Nakon što su napravljene sve provjere potrebno je iz tablice 4. očitati potreban moment predzatezanja.

M16 vijci

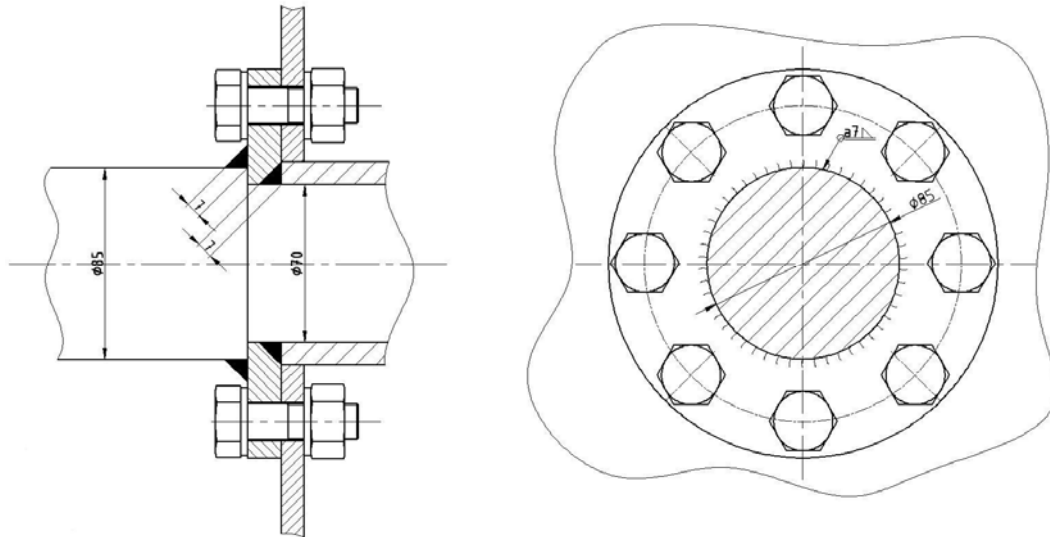
10.9 klasa vijaka

$$\mu_{G \text{ min}} = 0,12$$

$$M_A = 302 \text{ Nm}$$

4.5 Kontrola zavora

Prirubnica koja je zavarena na vratilo mora biti tako zavarena da može savladati moment koji se javlja uslijed opterećenja na platformi. Zavar je opterećen na uvijanje uslijed momenta torzije M_t , te je opterećen na savijanje zbog težine platforme momentom M_2 koji je ranije izračunat za presjek 2-2 u proračunu vratila. Na slici 23 je prikazan izgled i smještaj zavora na vratilu. Prirubnica je zavarena kutnim zavarom debljine $a = 7 \text{ mm}$ na dva mjesta, te je naknadno strojno obrađena strana prirubnice koja naslanja na čahuru kako bi se osiguralo pravilno nalijezanje.



Slika 23. Prikaz zavora vratila s prirubnicom

Elementi strojeva str. 44 za materijal zavora St 50 za I kvalitetu

$$\sigma_d = 110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$D_1 = 99 \text{ mm}$$

$$d_1 = 85 \text{ mm}$$

$$D_2 = 84 \text{ mm}$$

$$d_2 = 70 \text{ mm}$$

$$M_2 = 1995,8 \text{ Nm}$$

$$M_t = 4248$$

$$W_{pz1} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D_1^4 - d_1^4}{D_1} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{99^4 - 85^4}{99} = 86987 \text{ mm}^3$$

$$W_{pz2} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D_2^4 - d_2^4}{D_2} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{84^4 - 70^4}{84} = 60254 \text{ mm}^3$$

$$\tau_z = \frac{M_t}{W_{z1} + W_{z2}} = \frac{4248000}{86987 + 60254} = 28,85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{xz1} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_1^4 - d_1^4}{D_1} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{99^4 - 85^4}{99} = 43494 \text{ mm}^3$$

$$W_{xz2} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_2^4 - d_2^4}{D_2} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{84^4 - 70^4}{84} = 30127 \text{ mm}^3$$

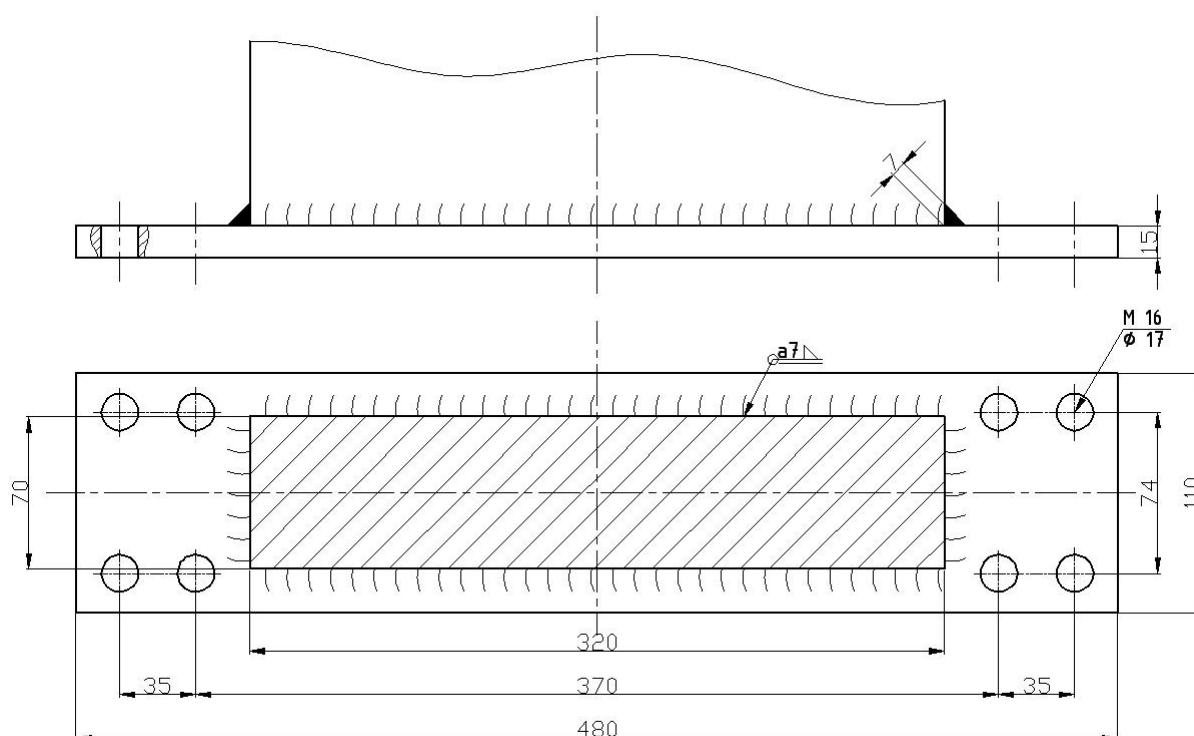
$$\sigma_z = \frac{M_2}{W_{xz1} + W_{xz2}} = \frac{1995800}{43494 + 30127} = 27,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_z^2} = \sqrt{27,2^2 + 3 \cdot 28,85^2} = 56,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_d$$

zadovoljava

5 Dimenzioniranje temeljne ploče

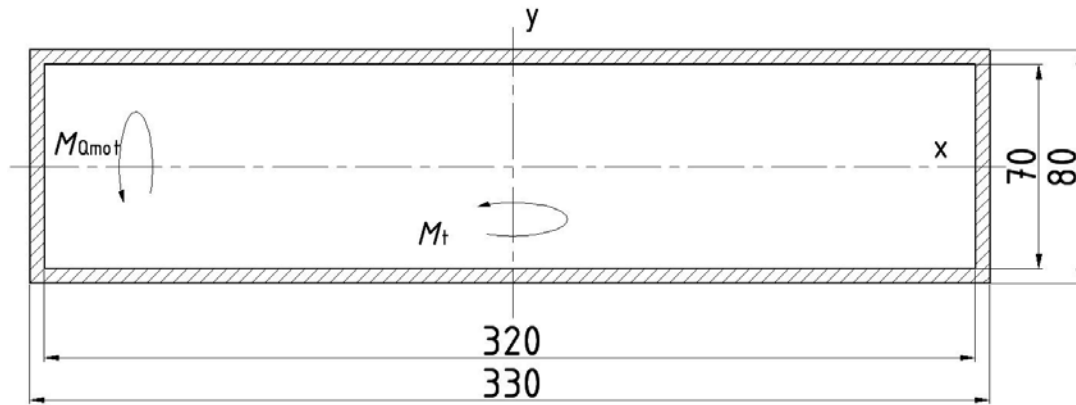
Spoj ležajnog mjesta sa temeljnim nosačem ostvaren je zavarivanjem ležajnog mjesta za temeljnu ploču izrađene iz materijala EN-GJL-250, te je ploča naknadno pričvršćena vijcima za temeljni nosač. Potrebno je napraviti kontrolu zavora i vijaka spoja temeljne ploče prikazanih na slici 24.



Slika 24. Spoj ležajnog mjesta sa temeljnom pločom

5.1 Kontrola zavora

Zavar je opterećen reakcijskim momentom torzije prijenosnika M_t te momentom savijanja od same mase prijenosnika i motora M_{Qmot} . Ostale sile i momente preuzima samoudesivi ležaj te one ne opterećuju sam zavar nego se direktno prenose preko temeljnih nosača na podlogu. Na slici je 25. su prikazani ovi momenti te dimenzije zavora [8], [9].



Slika 25. Prikaz opterećenja zavora temeljne ploče

Najprije je potrebno izračunati geometrijske karakteristike presjeka zavora, površine i momente inercije odnosno momente otpora:

$$A = 330 \cdot 80 - 320 \cdot 70 = 4000 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{330 \cdot 80^3}{12} - \frac{320 \cdot 70^3}{12} = 4933333 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \frac{80 \cdot 330^3}{12} - \frac{70 \cdot 320^3}{12} = 48433333 \text{ mm}^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{40} = \frac{4933333}{40} = 123333 \text{ mm}^3$$

$$W_y = \frac{I_y}{165} = \frac{48433333}{165} = 293535 \text{ mm}^3$$

$$F_{II1} = \frac{M_t}{0,240} = \frac{4712}{0,240} = 19633 \text{ N} - \text{obodna sila uslijed momenta torzije}$$

Naprezanja uslijed djelovanja momenta M_t , javlja se savijanje i smik:

$$\sigma_d = 110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - \text{za materijal zavora St 50 I kvaliteta, Elementi strojeva 44. str.}$$

$$n_1 = \frac{M_t}{W_y} = \frac{4712000}{293535} = 16,05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp 1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 16,05 = 11,35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$t_{II1} = \tau_{II1} = \frac{F_{II}}{A_{II1}} = \frac{19633}{2 \cdot 330 \cdot 5} = 5,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naprezanja uslijed momenta M_{Qmot} , javlja se samo savijanje:

$$M_{Qmot} = m_r \cdot g \cdot l = 152 \cdot 9,81 \cdot 0,160 = 238,6 \text{ Nm}$$

$$n_2 = \frac{M_t}{W_x} = \frac{238600}{123333} = 1,93 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp 2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot n_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 1,93 = 1,36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_d$$

zadovoljava

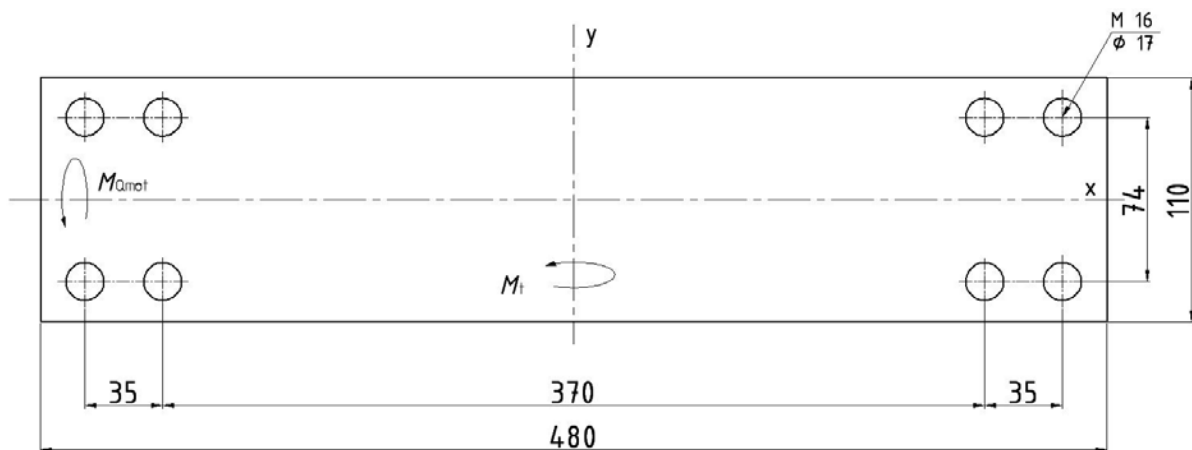
Ekvivalentno naprezanje

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{\perp 1}^2 + 1,8 \cdot \tau_{III}^2} = \sqrt{11,35^2 + 1,8 \cdot 5,95^2} = 13,88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_d$$

zadovoljava

5.2 Kontrola vijaka

Temeljna ploča je vijcima vezana za temeljni nosač. Vezana je sa 8xM16 vijaka. Potrebno je provjeriti vijke koji su opterećeni istim momentima kao i zavari. Na slici 26. je prikazan smještaj vijaka i momenti koji ih opterećuju.



Slika 26. Smještaj vijaka na temeljnoj ploči

HV vijci kvalitete 10.9, Elementi strojeva 102. str.

$$R_e = 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{dop} = 0,3 \cdot R_e = 0,3 \cdot 900 = 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naprezanja uslijed momenta M_t :

$$F_i = \frac{M_t \cdot h_i}{\sum h_i^2}$$

$$F_1 = \frac{4712000 \cdot (370 + 405)}{2 \cdot (370^2 + 405^2)} = 6067,6 \text{ N}$$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_{JM16}} = \frac{6067,6}{141} = 43,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naprezanja uslijed momenta M_{Qmot} :

$$F_i = \frac{M_{Qmot} \cdot h_i}{\sum h_i^2}$$

$$F_2 = \frac{238600 \cdot 74}{4 \cdot 74^2} = 806,1 \text{ N}$$

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{A_{JM16}} = \frac{806,1}{141} = 5,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ekvivalentno naprezanje:

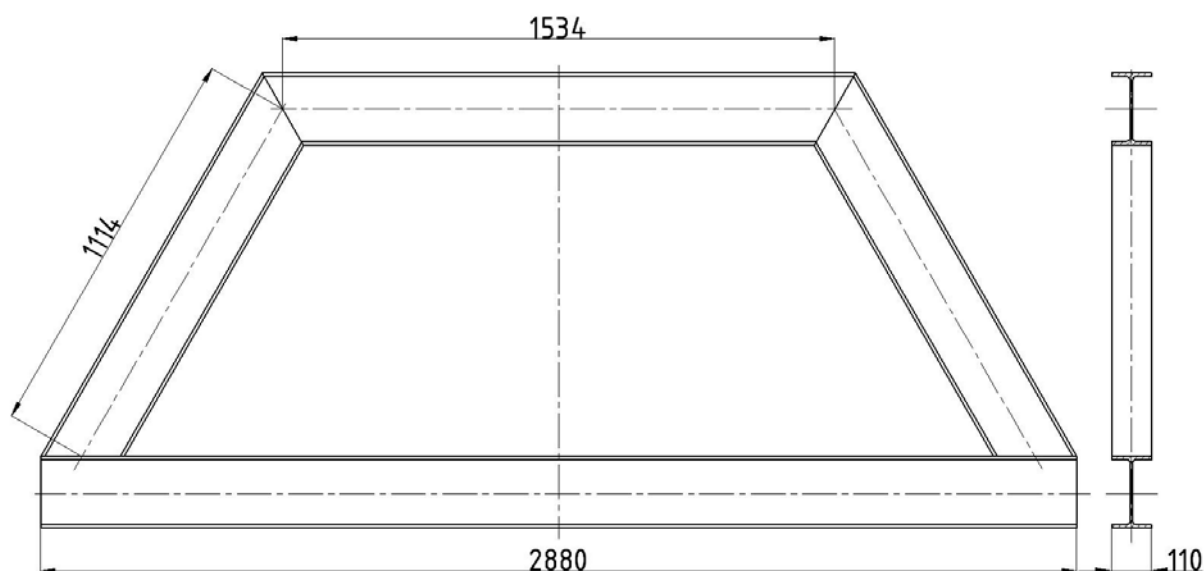
$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{43,03^2 + 5,72^2} = 43,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_d - \text{zadovoljava}$$

6 Izbor kotača

Kotači se odabiru prema nosivosti, stoga je potrebno izračunati ukupnu masu konstrukcije zajedno sa opterećenjem, masom platforme, masom temeljnih nosača i motora s reduktorom.

Masa temeljnih nosača i spojnica nosača

Temeljni nosači te spojnice nosača izrađene su iz IPE 220 profila. Potrebno je izračunati ukupnu duljinu profila.



Slika 27. Temeljni nosač

$$G = 26,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$L \approx 2880 + 1534 + 2 \cdot 1114 = 6643 \text{ mm}$$

$$m_{\text{tn}} = 26,2 \cdot \frac{6643}{1000} = 174 \text{ kg}$$

Spojnice nosača sastoje se od 2 profila ukupne duljine 24m

$$m_{\text{sn}} = G \cdot L = 26,2 \cdot 24 = 629 \text{ kg}$$

Ukupna masa konstrukcije:

$$m_{uk} = \frac{Q_{uk}}{9,81} + 2 \cdot m_{tn} + m_{sn} + m_r = \frac{33126}{9,81} + 2 \cdot 174 + 629 + 152 = 4505 \text{ kg}$$

Za konstrukciju je predviđeno osam kotača s kočnicom, pa se ukupna masa dijeli na

8 dijelova, pa je potrebna nosivost jednog kotača jednaka $\frac{m_{uk}}{8} = \frac{4505}{8} = 563 \text{ kg}$

Odabrani su industrijski kotači sa kočnicom tvrtke TENTE, model 8677TOO160P63.

Nosivost:	800 kg
Ukupna visina:	200mm
Promjer kotača:	160mm
Norma	EN 12532
Vlastita masa	3,043kg



Slika 28. Kotač sa kočnicom

7 Zaključak

U ovom diplomskom radu razrađena je konstrukcija zakretne platforme za zavarivanje. Pri konstrukciji je velik naglasak stavljen na što manju masu radi mobilnosti, pa su korišteni web-nosači umjesto standardnih IPE profila. Također zbog tražene modularnosti korišteni su vijčani spojevi, te je izrađena tehnička dokumentacija za dvije verzije platforme: devet-metarske i dvanaest-metarske. Kako bi se kraća verzija nadogradila u onu dulju, potrebno je na kraj nosivog okvira vijcima spojiti dodatni segment, kao što se može i vidjeti u priloženoj tehničkoj dokumentaciji. Ovako konstruirana zakretna platforma za zavarivanje omogućit će produktivniji rad u zavarivačkim poslovima, te se pokazuje kao efikasnije rješenje u odnosu na platforme koje nisu mobilne iz jednostavnog razloga što se ovisno o potrebama proizvodnje lagano prebacuje sa jedne na drugu lokaciju u pogonu. Konstrukcija bi se dalje mogla poboljšati dodavanjem senzora koji bi služili u funkciji sigurnosti na način da zaustave zakretanje platforme ukoliko se nađe neko strano tijelo u radnom prostoru platforme. No to sve ovisi o dodatnim zahtjevima za konstrukciju i konstruktor odlučuje kojim će dodatnim strojnim elementima opremiti konstrukciju.

8 Literatura

- [1] Inženjersko tehnički priručnik – Zavarivanje 3 (1980)
- [2] Omer W. Blodgett : Design of welded structures (1996)
- [3] G. Th. Wuppermann : Stahl in Hochbau (1990)
- [4] Zvonko Herold i suradnici : Vratilo
- [5] SKF – online katalog za odabir ležaja (www.skf.com)
- [6] Watt-drive Geared Motors – online katalog za odabir prijenosnika i motora (www.wattdrive.com)
- [7] VDI 2230 - Systematic calculation of high duty bolted joints
- [8] Karl-Heinz Decker : Elementi strojeva (2006)
- [9] Bojan Kraut – Strojarski priručnik (1997)
- [10] TENTE – online katalog za odabir kotača (www.tente.de)